Strahlende Elektrodenmaterie.

Von **J. Puluj,**

Privatdocent und Assistent am physikalischen Cabinete der Wiener Universität.

(Ausgeführt im physikalischen Cabinete der Wiener Universität.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 15. April 1880.)

(Mit 40 Holzschnitten.)

Die schönen Versuche des Herrn W. Hittorf „Über die Elektricitätsleitung in Gasen", welche er in zwei Mittheilungen im Jahre 1869 veröffentlichte,[1] sind selbst von Fachgenossen wenig beachtet worden, vielleicht weil der Titel etwas zu bescheiden ausgefallen ist.

Herr William Crookes, dem die Hittorf'schen Arbeiten unbekannt geblieben sind, wiederholte diese Untersuchungen und lieferte in seinem, auf der Jahresversammlung der British Association zur Förderung der Wissenschaften in Sheffield am 22. August 1879 gehaltenen Vortrage,[2] eine Übersicht der von ihm gewonnenen Resultate, welche von den Hittorf'schen gar nicht wesentlich verschieden sind und nur durch eine elegantere Form des Experimentes sich auszeichnen. Neu sind bloss die Schlussfolgerungen, zu denen Herr Crookes auf Grund dieser Versuche gelangte, und welche ein allgemeines Aufsehen und kein geringes Interesse besonders in jenen Kreisen erregten, die sich mit den Fragen trancendentaler Weltanschauung gerne beschäftigen.

---

[1] Pogg. Ann. Bd. 136.

[2] Dieser Vortrag erschien bereits in deutscher Übersetzung, betitelt: Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand. Von William Crookes. Mit Genehmigung des Verfassers deutsch herausgegeben von Dr. Heinrich Gretschel. Leipzig 1879. Ausserdem erschienen noch folgende Mittheilungen: On the illumination of lines of molecular pressure, and the trajectory of molecules. Proceedings of the R. S. Vol. XXVIII, Nr. 191. Philosophical Mag., S. 5, VII, p. 57, 1879. Nature. Juli 3 und 10, 1879.

Zur Erklärung der in den evacuirten Räumen beobachteten Erscheinungen nimmt Herr Crookes an, dass das zurückgebliebene sehr verdünnte Gas sich in einem neuen „ultragasigen" Zustande befindet, den er den „vierten Aggregatzustand" nennt, und mit einem von Faraday entlehnten Ausdrucke „strahlende Materie" bezeichnet.

Wenn wir uns fragen, warum Herr Crookes den vierten Aggregatzustand annimmt, so finden wir dafür folgende Begründung: [1]

„Je weiter dieser Process (der Verdünnung) getrieben wird, desto länger wird im Mittel die Entfernung, welche eine Molekel durchlaufen kann, ehe sie mit einer andern zusammenstösst; oder mit anderen Worten, je länger die mittlere Weglänge, desto mehr werden die physikalischen Eigenschaften des Gases oder der Luft abgeändert. So werden bei einem gewissen Punkte die Radiometererscheinungen möglich und, wenn man die Verdünnung noch weiter treibt, das heisst die Zahl der Molekeln in einem gegebenen Raume vermindert und ihren mittleren freien Weg vergrössert, so werden die experimentellen Resultate erlangt, auf welche ich Ihre Aufmerksamkeit jetzt hinlenken will. Diese Erscheinungen sind so verschieden von alledem, was bei gewöhnlichem Drucke in Luft oder Gas von gewöhnlicher Spannung sich ereignet, dass wir zu der Annahme geführt werden, wir stehen hier der Materie in einem vierten Aggregatzustande gegenüber, einem Zustande, der ebenso fern vom gasförmigen, als dieser vom flüssigen ist."

Es sind somit zwei Gründe, welche für die Nothwendigkeit der Annahme eines vierten Aggregatzustandes sprechen sollen: 1. der hohe Grad der Verdünnung, 2. die Verschiedenheit der Erscheinungen von denjenigen, welche beim gewöhnlichen Drucke stattfinden.

Wir wollen diese Gründe einer Discussion unterziehen, um zu sehen, welche Wahrscheinlichkeit der gemachten Hypothese beizulegen ist.

Die drei bisher bekannten Aggregatzustände der Körper sind durch die Verschiedenheit der Beweglichkeit ihrer kleinsten

---

[1] Strahlende Materie, p. 7.

Theilchen, sowie durch verschiedene Cohäsionsverhältnisse bedingt. Im gasförmigen Zustande erreichen die Theilchen den höchsten Grad der Beweglichkeit und die Cohäsion ist verschwindend klein. Was soll nun diesen hypothetischen vierten Aggregatzustand charakterisiren? Etwa eine noch grössere Beweglichkeit der Theilchen und ein noch geringerer Grad der Cohäsion? Dies ist kaum anzunehmen, so lange Moleküle und Atome als solche bestehen. Auch diese Frage lässt die erwähnte Schrift nicht unbeantwortet. Es heisst: „Beim Studium dieses vierten Zustandes der Materie scheinen wir endlich unter unseren Händen und im Bereich unserer Prüfung die kleinen untheilbaren Theilchen zu haben, von denen man mit gutem Grunde voraussetzt, dass sie die physikalische Grundlage des Weltalls bilden. Wir haben gesehen, dass in einigen ihrer Eigenschaften die strahlende Materie ebenso materiell ist, als dieser Tisch, während sie in anderen Eigenschaften fast den Charakter strahlender Energie annimmt. Wir haben thatsächlich das Grenzgebiet berührt, wo Materie und Kraft in einander überzugehen scheinen, das Schattenreich zwischen dem Bekannten und Unbekannten, welches für mich immer besondere Reize gehabt hat. Ich denke, dass die grössten wissenschaftlichen Probleme der Zukunft in diesem Grenzlande ihre Lösung finden werden und selbst noch darüber hinaus; hier, so scheint mir's, liegen letzte Realitäten.“

Die strahlende Materie würde sonach aus sehr kleinen, untheilbaren Theilchen, den Uratomen, bestehen, in welche das zurückgebliebene Gas und eine jede wägbare Materie beim höchsten Grade der Verdünnung (angeblich bei einem Milliontel Atmosphäre) sich auflösen soll.

Wir wollen nun die Frage erörtern, ob eine weitere Theilung der Atome nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft möglich ist, und welche Mittel uns dafür zu Gebote stehen.

Die wägbaren Körper lassen sich mit den uns bekannten Kräften in einfachere Stoffe zerlegen, welche Elemente genannt werden. Der Chemiker Prout und nach ihm der berühmte Dumas haben die Thatsache festgestellt, dass zwischen den Atomgewichten einfacher Stoffe eine gewisse Gesetzmässigkeit

---

[1] Strahl. Mat., p. 38.

besteht, nach welcher alle einfachen Körper ein Atomgewicht haben, das gleich ist einem Vielfachen vom Atomgewichte eines noch unbekannten Körpers, dessen Äquivalent nur die Hälfte des Äquivalentes des Wasserstoffes beträgt. Ausserdem gelangt Dumas, geleitet durch die Analogie der Verbindungen, welche durch organische Radicale gebildet werden, zum Schlusse, dass die Äquivalente der einfachen Stoffe, welche einer und derselben natürlichen Familie angehören, in derselben Weise eine arithmetische Reihe bilden, wie die Radicale der organischen Chemie. Diese Thatsachen sprechen für eine grosse Wahrscheinlichkeit der Annahme, dass die Körper die wir als einfache Stoffe ansehen, Verbindungen höherer Ordnung sind, dass sie sehr verwickelte Aggregate anderer, selbst wieder zusammengesetzter Elemente sind, dass sie sich aber schliesslich alle in eine einzige Materie auflösen lassen. Die Zerlegbarkeit und Umwandelbarkeit der chemischen Elemente ist besonders in neuerer Zeit von Forschern, wie Lothar Meyer, Mendeljeff, Norman Lockyer, Gorup Besanez, Fr. Wächter und A. angenommen und vielfach begründet worden. Die Materie ist somit einer weiteren Theilbarkeit fähig, und es ist möglich, dass sie in ihrer letzten Theilung jene sogenannte unwägbare Materie geben würde, die wir Äther nennen, welcher seine Existenz durch die Bewegungsform der Strahlung offenbart, und dessen Materialität und Trägheit dadurch bewiesen ist, dass er mit der wägbaren Materie seine Bewegung austauscht.

Betrachten wir die Mittel, welche wir zur Zersetzung der Körper gebrauchen können. Diese reduciren sich auf die Moleculararbeit, welche die Wärmebewegung, die Elektricität und chemische Kraft leisten können. Sehr complicirte Moleküle, wie die der organischen Stoffe, können schon durch mässige Temperaturen zerlegt werden, dagegen bleiben einfache Stoffe, selbst wenn sie höhere Temperaturen als 1500° C. durchlaufen, unzersetzt. Ebenso wie die Wärmeenergie hat sich auch die Energie der stärksten elektrischen Ströme und die der chemischen Verwandtschaft als zu schwach erwiesen, um den Verband der Uratome in den Atomen der Elemente zu lösen. Hätten wir jene kleinsten Theilchen, welche die „physikalische Grundlage der Welt“ bilden, so müssten sie gewiss ganz anderer Natur sein, als unsere Ele-

mente, so dass der Name „Aggregatzustand" nicht einmal zutreffend wäre; möglicherweise könnten sie mit Äthertheilchen identisch sein. Indessen ist das nicht der Fall, indem die Moleküle strahlender Materie ihre charakteristischen chemischen Eigenschaften behalten, was Herr Crookes selbst experimentell nachgewiesen hat. Auch, dass die beobachteten Erscheinungen der Phosphorescenz, der Schatten, der magnetischen Ablenkung, sowie die Bewegungserscheinungen in verschiedenen Gasen beim verschiedenen Drucke anfangen, ist in bester Übereinstimmung mit den Erwartungen, die sich aus der kinetischen Gastheorie ergeben und beweisen, dass wir in verdünnten Gasen noch immer mit wirklichen Molekülen zu thun haben; dafür spricht auch der metallische Niederschlag in der Umgebung der negativen Elektrode.

Auch haben Versuche, die später erwähnt werden, bewiesen, dass wir hier nicht mit der Strahlung einer Äthermaterie zu thun haben. (S. 882).

Herr Crookes will die letzte Theilung der Materie durch den hohen Grad ihrer Verdünnung, angeblich bis ein Milliontel Atmosphäre, 0·0008 Mm., erreicht haben. Es mag Herrn Crookes, als er sich zu dieser Annahme verleiten liess, vielleicht die Idee vorgeschwebt haben, dass ein flüssiger Körper desto leichter in den gasförmigen übergeht, je geringer die Cohäsion, welche die Theilchen zusammenhält, und je kleiner der äussere Druck ist, der auf die Theilchen wirkt, und dass auch die Dissociation complicirter Moleküle bei kleinerem Drucke viel leichter vor sich geht. Es muss aber dagegen bemerkt werden, dass der Theil der Energie der Molecularbewegung, welche den Druck überwindet, verhältnissmässig klein ist gegen jenen Theil, der beim Verdampfen die Cohäsion und bei der Dissociation die chemische Verwandtschaft überwinden muss, gewiss aber verschwindend klein sein wird gegen jenen Theil, der nöthig ist, um die Bande der Uratome zu zerreissen.

Ausserdem ist für die Erscheinungen strahlender Materie kein so hoher Grad der Verdünnung nöthig, als ihn Herr Crookes erreicht haben will, indem directe Manometermessungen ergaben, dass schon bei 0·01 Mm. Quecksilberdruck ein Strom von mässiger Intensität (2 Ctm. Funkenlänge) durch die Röhre nicht mehr

geht, und ich bin fest davon überzeugt, dass selbst bei trillionenfacher Verdünnung wir noch immer 21 Moleküle in einem Kubikcentimeter Luft haben werden, und dass nicht eher ein Zerfallen derselben in Uratome zu erwarten ist, bis nicht eine andere mächtigere Energiequelle, als die bisher erkannten, aufgefunden werden wird.

Noch weniger kann ich die Nothwendigkeit des neuen Aggregatzustandes anerkennen, weil diese Erscheinungen „verschieden" sind von Allem, was beim gewöhnlichen Drucke beobachtet worden ist. Die Nothwendigkeit irgend einer neuen Annahme würde erst dann erwiesen sein, wenn die Erscheinungen durch das bisher Bekannte nicht erklärt werden könnten.

Aus diesen Gründen kann ich mich nicht entschliessen, für die Existenz des vierten Aggregatzustandes einzutreten und ebenso wenig für die Ansicht mich erwärmen, dass wir das Grenzgebiet berühren, „wo Materie und Kraft in einander überzugehen scheinen", am allerwenigsten, dass wir hier ein offenes Thor in die vierdimensionale Welt haben, wie es manche transcendentale Denker glaubwürdig finden.

Wie Materie und Kraft in einander übergehen können, ist ein Geheimniss, welches zu erklären Herr Crookes unterlassen hat.

Dunkler Raum im Glimmlichte.

In einer gewöhnlichen Geissler'schen, mit Luft von ungefähr 0·5 Mm. Druck gefüllten Röhre sieht man am positiven Pole ein rothes Lichtbüschel, welches aus einzelnen hellen und dunklen Schichten bestehend den grösseren Theil der Röhre ausfüllt, am negativen Pole ein blaues Licht, das sogenannte Glimmlicht, und zwischen beiden einen dunklen Raum, auf dessen Erklärung ich später zurückkommen werde. Bei fortgesetzter Verdünnung verschwinden nach und nach die Schichten des positiven Lichtes und das von demselben durch den dunklen Raum stets getrennte Glimmlicht breitet sich über die ganze Röhre aus. Bei näherer Untersuchung des Glimmlichtes unterscheidet man an der Elektrode ganz deutlich einen zweiten dunklen Raum, der vom ersteren durch eine breite Schichte Glimmlichtes von abnehmender Intensität scharf begrenzt ist.

Diesen längst bekannten und von H. Hittorf sehr genau beschriebenen dunklen Raum hält H. Crookes für die „mittlere Weglänge des Gasresiduums". Die Begründung dieser Annahme möge hier folgen und für sich selbst sprechen:

„Man findet, dass dieser dunkle Raum grösser oder kleiner wird bei Veränderung des Grades der Verdünnung der Luft in derselben Weise, wie die mittlere freie Weglänge sich verlängert oder verkürzt. Wie man bei der einen mit dem geistigen Auge erkennt, dass sie grösser wird, so sieht man beim andern mit dem leiblichen Auge die Zunahme; und wenn das Vacuum unzureichend ist, um solches Spiel der Moleküle zu gestatten, bevor sie auf einander stossen, so zeigt der Durchgang der Elektricität, dass der dunkle Raum auf kleine Dimensionen zusammengeschrumpft ist. Daraus schliessen wir naturgemäss, dass dieser dunkle Raum die mittlere freie Weglänge der Molekeln des noch übrig gebliebenen Gases ist, eine Annahme, die durch das Experiment bestätigt wird"

Die Schlussweise des Herrn Crookes ist folgende: A und B ändern sich in derselben Weise, wenn sich C ändert, somit muss A gleich B sein. Auf diese Weise schliessend, könnten wir beispielsweise finden, dass der Druck in einem bestimmten Volumen Gases gleich ist der Anzahl vorhandener Moleküle, weil beide mit der mittleren Weglänge in gleicher Weise abnehmen. Der Trugschluss liegt zu klar auf der Hand und es nützt uns wenig, dass uns Herr Crookes mittelst des Inductionsfunkens „die Linien molecularen Druckes thatsächlich erleuchtet". Der dunkle Raum ist keine mittlere Weglänge und bloss eine von derselben abhängige Erscheinung, die wir mit Leichtigkeit verstehen werden, nachdem wir das Wesen der strahlenden Materie erkannt haben werden.

Es genügt, einige Versuche mit Elektroden von verschiedenen Metallen: Platin, Kupfer, Silber, Zink zu machen, um in die Vorgänge im dunklen Raume Einsicht zu erlangen. Bei Anwendung eines Inductionsstromes von ungefähr 6 Ctm. Funkenlänge überziehen sich die Glaswände schon nach einer halben Stunde mit Spiegeln vom betreffenden Metall. Der metallische Überzug ist am stärksten in der Nähe der Elektrode und reicht soweit als das Glimmlicht.

Die Elektrode selbst ist von einer gelben staubartigen Wolke bedeckt, die das Ansehen von Goldstaub hat, und wahrscheinlich durch Glühen der äussersten Oxydschichte oder auch des gebildeten, metallischen Niederschlages entsteht.

Wird die Röhre in der Nähe des negativen Pols mit den Schenkeln eines Hufeisenmagnetes umfasst, so zieht sich das Glimmlicht in die Nähe der Elektrode zusammen und es wird ein kleinerer Theil der Glasröhre mit Metall überzogen. Indem ich plattenförmigen Platinelektroden Glasplatten gegenüberstellte, erhielt ich auf diese Weise schöne Platinspiegel.

Das Aluminium ist das einzige mir bekannte Metall, welches keine merklichen Spiegel am Glase liefert und desshalb „schwerflüchtig“ bezeichnet wird. Der schwache Überzug, welcher das Glas auch bei Anwendung dieses Metalles zeigt, und der nur durch Phosphorescenzerscheinung nachgewiesen werden kann, wie später näher erörtert werden wird, dürfte von anderen Metallen herrühren, von denen das Aluminium nicht vollkommen gereinigt ist.

Den Grund dessen, dass Aluminiumtheilchen am Glase nicht haften bleiben, möchte ich in der chemischen Constitution derselben oder auch in ihren Adhäsionsverhältnissen suchen. Es werden aber auch Aluminiumtheilchen losgerissen und fortgeschleudert und bewegen sich so lange, bis sich die Gelegenheit darbietet an einer Stelle der positiven oder negativen Elektrode haften zu bleiben. Es kann somit darüber kein Zweifel obwalten, dass einzelne Elektrodentheilchen durch den elektrischen Strom mechanisch (nicht durch Verdampfen) losgerissen und senkrecht zur Oberfläche der Elektrode von derselben weg mit einer relativ sehr grossen Geschwindigkeit fortgeschleudert werden. Die Theilchen sind mit statischer negativer Elektricität geladen und indem sie sich selbst bewegen, führen sie auch die letztere convectiv fort und vermitteln auf diese Weise die Stromleitung zwischen beiden Elektroden. Dass an dieser elektrischen Convection auch Gastheilchen theilnehmen, ist selbstverständlich. Durch diesen Strom von Elektrodentheilchen wird das Gas von der Elektrode zurückgedrängt, ganz auf dieselbe Weise, wie in der Gasflamme das herausströmende Leuchtgas die Lufttheilchen vor sich drängt und den dunklen Raum unmittelbar an der Aus-

strömungsöffnung bildet, in welchen nur sehr wenige Sauerstoffmoleküle eindringen können und der desto grösser wird, mit je grösserer Geschwindigkeit das Gas ausströmt. An der Grenze, wo die Elektrodentheilchen mit den Gasmolekülen zusammenprallen werden die ersteren durch allseitige Stösse der letzteren nach allen möglichen Richtungen aus ihrer ursprünglichen, geradlinig fortschreitenden Bewegung abgelenkt. Es findet eine gegenseitige Diffusion der Elektroden- und Gastheilchen statt unter gleichzeitiger Ablagerung der ersteren an den Glaswänden. Da ferner die Elektrodentheilchen mit unvergleichlich grösserer Geschwindigkeit sich bewegen als die Gastheilchen und der Druck überall in der Röhre gleich gross sein muss, so wird auch ihre Anzahl in der Volumseinheit geringer sein müssen und daher jener Raum, in welchem die Elektrodentheilchen mit Gasmolekülen sich noch nicht vermischt haben, relativ dunkel erscheinen. An der Grenze des Zusammentreffens der Metall- und Gastheilchen wird die Erschütterung der körperlichen Moleküle und ihrer Ätherhüllen stark sein, indem ein Theil der progressiven Bewegung strahlender Elektrodenmaterie in Atombewegung und Bewegung der Ätherhüllen verwandelt wird; es muss daher daselbst sowohl die Wärme als auch die Phosphorescenzerscheinung intensiver sein und mit der Entfernung von der Elektrode nach und nach abnehmen.

Es dürfte kaum jemand bezweifeln, dass man nicht berechtigt ist das Avogadro'sche Gesetz auf den dunklen Raum und den übrigen Theil der Röhre anzuwenden. Im dunklen Raume ist die Materie in progressiver Bewegung begriffen; würde sich dieselbe in eine nach allen Richtungen gleichmässige Wärmebewegung umwandeln, so hätte man im dunklen Raume denselben Druck wie im Glimmlichte, aber eine viel höhere Temperatur.

Bei grösserer Verdünnung ist die zur Entladung nothwendige Spannung der Elektricität, somit auch die Geschwindigkeit der fortgeschleuderten Theilchen grösser, und da ausserdem auch noch der Widerstand des Gasrückstandes geringer wird, so erweitert sich der dunkle Raum immer mehr und seine Grenze verschwindet, wenn die Verdünnung ungefähr 0·03 Mm. erreicht.

Herr Crookes behauptet dass das zurückgebliebene Gas innerhalb des dunklen Raumes im vierten Aggregatzustande sich befindet und nennt es „strahlende Materie“.

Nach meiner Ansicht besteht die Materie, welche den dunklen Raum erfüllt, aus mechanisch losgerissenen Elektrodentheilchen, welche mit statischer negativer Elektricität geladen sind und mit ungeheurer Geschwindigkeit in gerader Richtung sich progressiv bewegen.

Damit über das Wesen dieser Materie kein Zweifel obwalte, nenne ich sie „strahlende Elektrodenmaterie“ zum Unterschiede vom sogenannten „Glimmlichte“, welches aus einem Gemenge von Elektroden- und Gastheilchen besteht.

Betrachtet man die Elektrodentheilchen als unendlich kleine Kugeln, welche von der Oberfläche einer grossen Kugel losgerissen werden, so kann nach der Berechnung von Plana[1] für die mittlere Dichte der Elektricität der Elektrodentheilchen 1·645 gesetzt worden, wenn dieselbe für die Elektrode als Einheit angenommen wird.

Dass der dunkle Raum mit der mittleren Weglänge des verdünnten Gases nicht identisch ist, lässt sich auch durch Rechnung leicht nachweisen.

Zu diesem Behufe habe ich einige Versuche mit Luftröhren bei sehr kleinem Drucke ausgeführt. Der Druck wurde mittelst eines Manometers bestimmt, welches ich in einer früheren Abhandlung: „Über die innere Reibung der Dämpfe“[2] beschrieben habe. Dasselbe gestattet ein bestimmtes Gasvolumen von zu bestimmendem Drucke auf ein kleineres Volumen zu comprimiren und die Druckzunahme in Millimetern zu messen. Aus dieser Druckzunahme und dem Verhältnisse beider Volumina berechnet sich der Druck des verdünnten Gases. Es war möglich, auf diese Weise noch 0·01 Mm. zu bestimmen. Nach Regnault's Angaben beträgt die Spannkraft des Quecksilberdampfes bei mittlerer Zimmertemperatur mehr als 0·03 Mm., und es könnte daher eingewendet werden, dass ein so geringer Druck 0·01 Mm. unmög-

---

1 Mem. de l'acad. de Turin, 1845. 2. Sér. VII.

2 Sitzb. d. kais. Ak. d. Wissensch., Bd. 78, J. 1878.

lich erreicht werden könnte, weil die Verdünnung mittelst einer Quecksilberpumpe bewerkstelligt wurde. Abgesehen davon, dass die Angaben Regnault's bei niederen Temperaturen eine grosse Genauigkeit kaum beanspruchen dürften, wäre nach der Ansicht des Herrn Hofrathes Stefan der obige Einwand nur dann zutreffend, wenn das Quecksilber auch schnell verdampfen und in kurzer Zeit die Verbindungsröhren und den evacuirten Raum erfüllen würde, was hier wahrscheinlich nicht der Fall sein dürfte.

Indessen sei hier bemerkt, dass das Manometer keineswegs zu grosse Druckwerthe angibt. Die benutzte Röhre war in der Mitte mit einer kreisrunden Zinkelektrode *a* versehen, welche mit

Fig. 1.

dem negativen Pol eines Inductionsstromes verbunden wurde; die drahtförmige Elektrode *b* stand mit dem positiven Polende in Verbindung.

Die nachfolgenden Zahlen sind Mittelwerthe aus drei Versuchsreihen; darin bedeutet *p* den Druck in Millimetern und *d* den dunklen Raum *ac*.

p	d	pd
1·46 Mm.	2·5 Mm.	3·650
0·66	4·5	2·970
0 51	5·8	2·958
0·30	7·8	2·348
0·24	9·5	2·280
0·16	14·0	2·240
0·12	15·5	1·860
0·09	19·5	1 755
0·06	22·0	1·320
0·02	?	?

Bei $p = 0·09$ Mm. beginnt die Glasröhre zu phosphoresciren, bei $p = 0·06$ Mm. ist die Phosphorescenz lebhaft, bei $p = 0·02$ Mm. und einem Inductionsstrome von 2 Ctm. Funkenlänge

nimmt dieselbe ab, bei $p = 0·01$ Mm. ist sie sehr schwach und nur am Ende der Röhre sichtbar. Bei einem geschätzten Drucke von 0·005 Mm. sieht man nur in einem vollkommen dunklen Zimmer von Zeit zu Zeit ein schwaches Blitzen durch die Röhre, wenn aber bei diesem Grade der Verdünnung die drahtförmige Elektrode zum negativen Pol gemacht wird, so erscheint die Phosphorescenz wieder längs der ganzen Röhre.

Wie das Product pd zeigt, ist d dem Drucke nicht verkehrt proportional, wie es bei der mittleren Weglänge der Fall sein sollte.

Wird ferner nach Stefan die mittlere Weglänge der Luftmoleküle bei 760 Mm. Druck = 0·000071 Mm. angenommen, so ergibt sich für die mittlere Weglänge bei $p = 0·06$ zu 0·9 Mm. gegen $d = 22$ Mm., und noch ungünstiger bei höherem Drucke, beispielsweise bei $p = 1·46$ Mm. zu 0·04 Mm. gegen $d = 2·5$ Mm.

Der dunkle Raum ist somit keine mittlere Weglänge der Gasmoleküle und blos jene mittlere Entfernung von der Elektrode, bis zu welcher die losgerissenen Theilchen auf ihren geradlinigen Bahnen gelangen, bevor sie in den Schwarm der ihnen entgegenfliegenden Gasmoleküle hineinstürzen und durch die Stösse der letzteren nach allen möglichen Richtungen abgelenkt werden. Es ist aber auch nicht die mittlere Weglänge der Elektrodentheilchen, denn wir dürfen ebenso wenig annehmen, dass die Elektrodentheilchen im dunklen Raume sich gegenseitig nicht stossen, wie dass die Moleküle des Leuchtgases im dunklen Raume der Flamme sich gegenseitig nicht stossen.

Es sei hier noch bemerkt, dass ich die schönste Phosphorescenz bei 0·04 Mm. beobachtete, während Herr Crookes dieselbe bei 50mal kleinerem Drucke 0·00076 Mm. gesehen haben will, bei welchem nach meinen Erfahrungen selbst starke Inductionsströme kaum durchgehen dürften. So viel mir aus den bis jetzt erschienenen Berichten über die strahlende Materie bekannt ist, hat Herr Crookes die hohe Verdünnung dadurch erreichen wollen, dass er letzte Spuren irgend eines Gases durch ein entsprechendes Mittel absorbiren liess. Die Erfahrung hat mich aber gelehrt, dass es viel leichter geht, mit einer gut getrockneten Pumpe zu evacuiren, weil die absorbirenden Körper sehr viel occludirte

Gase enthalten, welche sie im Vacuum ausscheiden. Ja selbst Metalle enthalten Gase in beträchtlicher Menge, wovon man sich leicht überzeugen kann, indem man eine Röhre mit Platinelektroden soweit auspumpt, dass beim schwächeren Strome eine schöne Phosphorescenz der Glasröhre zu sehen ist. Wird nachher ein starker Strom angewendet, so entwickelt sich aus der Elektrode in wenig Secunden so viel Gas, dass die Phosphorescenz ganz verschwindet und die Röhre mit weislichem Lichte sich füllt. Soll die Elektrode von occludirten Gasen genügend befreit werden, so muss ein starker Inductionsstrom stundenlang ohne Unterbrechung durchgehen, während die sich entwickelnden Gase durch fortwährendes Pumpen entfernt werden.

Will man mit der Geissler'schen Pumpe diesen Verdünnungsgrad erreichen, so muss vor Allem das bewegliche Quecksilbergefäss mit einem Trockenapparate versehen werden, weil sonst das Quecksilber den Wasserdampf der Luft in sich aufnimmt und denselben im Vacuumgefäss abgibt. Das Quecksilbergefäss darf, damit keine Luft mitgerissen werde, nur langsam gehoben werden. Damit ferner in den Canälen der Hähne keine Luftbläschen zurückbleiben, muss nach jedem Pumpenzuge die Luft 2—3mal gesammelt und hinausgetrieben werden. Bei hohen Verdünnungsgraden und besonders, wenn die Canäle der Verbindungsröhren sehr enge sind, muss nach jedem Pumpenzuge ungefähr eine Minute gewartet werden, weil die sehr verdünnte Luft in Folge ihrer noch immer beträchtlichen inneren und äusseren Reibung an den Glaswänden nur langsam in das Vacuumgefäss gelangt.

Phosphorescenz fester Körper in strahlender Elektrodenmaterie.

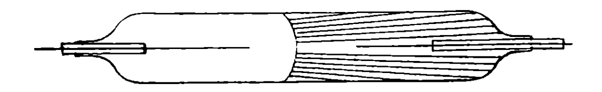
Die strahlende Elektrodenmaterie erzeugt an vielen Körpern, wenn sie von derselben getroffen werden, ein Selbstleuchten derselben, welche Erscheinung Phosphorescenz und von manchen Physikern auch Fluorescenz genannt wird.

Die Erscheinung der Phosphorescenz ist schon lange bekannt und eingehend von Herrn Hittorf und nachher von Professor Reitlinger in Gemeinschaft mit Herrn v. Urbanitzky studirt worden.

Es möge mir gestattet sein, an dieser Stelle die Beschreibung dieser Erscheinung, wie sie sich in der zweiten Mittheilung des Herrn Hittorf vorfindet, wörtlich anzuführen: [1]

„Bei der äussersten Verdünnung, welche der Aspirator ohne Erhitzung des gasförmigen Mediums hervorzubringen vermag, bleibt der ganze negative Draht dunkel. Nur vom Ende, welches der Anode gegenüberliegt, geht noch negatives Licht aus, das jedoch, weil die mittlere dunkle Schichte („dunkler Raum") desselben eine beträchtliche Dicke erlangt hat, erst in einiger Entfernung zu beginnen scheint. Seine schwach leuchtenden Strahlen erreichen eine bedeutende Ausdehnung und gehen durch fusslange Röhren. Die Glaswände, welche dieselben begrenzen, werden zur lebhaften grüngelben Phosphorescenz gebracht und büssen an Durchsichtigkeit ein. Positives Licht ist meistens nicht wahrnehmbar." (Hängt von der Länge der Röhre ab. J. P.)

Fig. 2.



In einer cylindrischen Röhre, Fig. 2, erscheint daher nur die Wand, welche den positiven Draht und den Zwischenraum der Elektroden umgibt, lebhaft grün leuchtend, und namentlich hell ist die Stelle, an welcher die Anode eingefügt ist, weil sie dem Ende der Kathode gegenüberliegt. Vermehrt man die Zahl der galvanischen Elemente, so tritt noch grünes Fluorescenzlicht als mehr oder weniger breiter Ring um das Ende der Kathode zu dem beschriebenen hinzu."

Wer sich mit diesen Dingen einmal befasst hat, der wird nach der gegebenen Beschreibung wohl nicht zweifeln, dass Herr Hittorf eine Erscheinung sogenannter „strahlender Materie", die er einfach „Glimmlicht" nennt, beobachtet hat. Diese Erscheinung wurde auch an einem Glaskolben beobachtet,[2] in dessen kugelförmiges Gefäss ein langer Draht hineinragte. „Ist der Draht im weiten Kolben negativ, so ist derselbe, auf der

---

[1] Pogg. Ann. Bd. 136, p. 198.

[2] Pogg. Ann., Bd. 136, p. 203.

ganzen Länge mit schwachleuchtendem Glimmlichte bedeckt, welches bis zu den Glaswandungen fluthet und lebhafte Fluorescenz erregt“.

Prof. Reitlinger und von Urbanitzky[1] haben zwar in Röhren von geringerer Verdünnung beobachtet, dass das sehr helle Glimmlicht von einer schönen grünen Fluorescenz des umgebenden Glases begleitet war, aber andererseits auch in Röhren mit sehr hoher Verdünnung, dass die Umfluthung der negativen Elektrode sehr wenig hell und doch ein sehr hellgrünes Licht im umgebenden Glase bemerkbar war. An diesen Röhren beobachteten sie auch dem Elektrodendraht gegenüber einen dunklen Beschlag. Das grüne Licht entsprach auffällig der Verbreitung des Beschlages und war wie dieser an der dem dunklen Raum zugewendeten Seite scharf begrenzt.

Herr Crookes nimmt an, dass die „strahlende Materie“ nur innerhalb des dunklen Raumes vorhanden ist, nachdem wir aber erkannt haben, dass auch das Glimmlicht Elektrodentheilchen enthält, so wäre man berechtigt zu erwarten, dass auch im Glimmlichte jenseits des dunklen Raumes Phosphorescenzerscheinungen auftreten könnten. Während meiner zahlreichen Versuche ist mir auch oft vorgekommen, dass gewisse Glassorten schon bei einem dunklen Raume von 10 Mm. der ganzen Länge nach phosphorescirten, während im Inneren noch deutlich das Büschellicht zu sehen war, namentlich wenn als negative Elektrode eine kreisrunde Scheibe vom Röhrendurchmesser verwendet wurde.

Eine schöne Phosphorescenz ausserhalb des dunklen Raumes zeigt ein bläulichgrün phosphorescirender Diamant, den mir Herr Dr. E. v. Fleischl bereitwilligst zur Verfügung stellte. Wird das Gas so weit verdünnt, dass der Diamant innerhalb des dunklen Raumes liegt, so wird die Phosphorescenz lebhaft. Wenn die Verdünnung so weit gediehen ist, dass selbst im dunklen Zimmer keine Lichterscheinungen in der Röhre zu sehen sind, so verräth von Zeit zu Zeit ein ganz schwaches Aufblitzen des Diamanten schwache Entladungen des Stromes. Wird bei diesem Verdünnungsgrade das Drahtende vom positiven Pol, die Aussenseite der Röhre berührend, dem negativen Pol genähert, so entladet

---

[1] Sitzb. d. kais. Ak. d. Wissensch., Bd. 73, 1876.

sich der Strom durch das Glas und die ganze Röhre erfüllt sich mit schwachem Phosphorescenzlichte. Ausserhalb des dunklen Raumes phosphoresciren auch Schwefelverbindungen der alkalischen Erdmetalle.

An dieser Stelle will ich noch bemerken, dass bei hohem Grade der Verdünnung die Entladungen des elektrischen Stromes auch durch das Glas vor sich gehen und dass nicht selten in capillaren, mit sehr verdünnter Luft erfüllten Gängen, den sogenannten Schlieren, sehr helle, weissglänzende Lichtlinien von ungefähr 1 Ctm. Länge zu sehen sind.

Sehr schöne, hellglänzende Funken beobachtet man auch an Elektrodenstellen, welche mit Glas überzogen sind. Die Entladung geht durch das Glas in den Elektrodendraht, selbst wenn derselbe noch entblösste Stellen hat und etwa eine runde Scheibe trägt, wie in der Lampe (Fig. 8). Der Funke verflüchtigt das Metall und daher ist der Funke bei einer Kupferelektrode glänzend roth.

Ein blauer Smaragd, den ich vom Herrn Hofrathe Hochstetter zum Zwecke einer Untersuchung erhielt, phosphorescirte nur innerhalb des dunklen Raumes in einem prachtvollen carmoisinrothen Lichte.

Papierkohle, durch längere Zeit mittelst strahlender Elektrodenmaterie bis zur Weissgluth erhitzt, zeigt bei Anwendung eines schwachen Inductionsstromes wie der Diamant eine bläulichgrüne Phosphorescenz. Ich habe die Kohle mikroskopisch noch nicht untersucht und es wäre nicht unmöglich, dass die Phosphorescenzerscheinung von den mikroskopisch kleinen Diamanten herrührt, welche sich in der Weissgluth gebildet haben.

Ist die negative Elektrode eine kreisrunde Scheibe, so bedeckt sich dieselbe mit dem Glimmlichte an ihrer ganzen Oberfläche. Bei der starken Verdünnung ziehen sich die Entladungen mehr gegen die Ränder; man sieht aber im Inneren der Röhre noch immer blaue Strahlen der Elektrodenmaterie, selbst bei glänzender Phosphorescenz der Glaswände. Beim Drucke 0·03 Mm. und einem Inductionsstrome von 2 Ctm. Funkenlänge gehen die Entladungen nur noch an der inneren Glaswand und die Phosphorescenzwirkung der Strahlen hat ihr Maximum

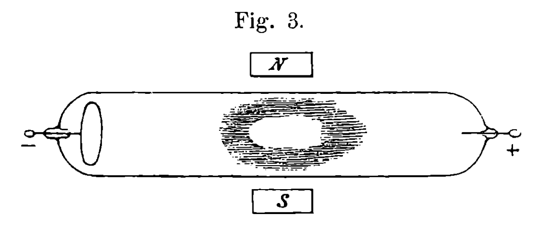
erreicht, wobei im Inneren der Röhre keine Lichterscheinung zu sehen ist.

Darüber schreibt Herr Crookes. „Bei sehr starker Evacuirung aber verschwinden die Phänomene, welche man beim Durchgange des Inductionsfunkens in gewöhnlichen Vacuumröhren beobachtet — ein wolkiger Lichtschein und Schichtung — vollständig. Weder Wolke noch Nebel irgend welcher Art erscheint in dem Raume der Röhre bei einem Vacuum, wie ich es bei diesen Experimenten anwendete; das einzige Licht welches man beobachtet, ist das von der phosphorescirenden Oberfläche des Glases.

Dieser Umstand mag vielleicht Herrn Crookes zur Annahme verleitet haben, dass durch den inneren Raum der Röhre, in welchem keine Materie wahrzunehmen ist, eine blosse „Energie strahlt," dass hier „Materie und Kraft in einander unterzugehen scheinen".

Über die Richtigkeit obiger Behauptung, dass die Entladungen nur am Rande der Scheibe erfolgen und längs der Glaswand sich fortpflanzen, überzeugt man sich mit Leichtigkeit, indem man der Röhre von der Seite einen Hufeisenmagnet nähert.

Fig. 3.



Das Licht wird auf einer Seite angezogen und man sieht einen Querschnitt des hohlen Strahlencylinders mit der Glaswand als einen ovalen Phosphorescenzring. Die Entladung längs der Glaswand zeigt in viel auffälligerer Weise die elektrische Lampe, deren Beschreibung später folgen wird.

Bei der Entladung an der inneren Glaswand ist die äussere Oberfläche der Glasröhre sehr stark positiv elektrisch, und Pendel von dünnwandigen Glaskugeln von der Grösse einer Haselnuss, werden aus Entfernungen von 1—2 Ctm. angezogen und bleiben an der Glaswand haften.

Von Interesse dürfte auch die Beobachtung sein, welche ich an vielen Röhren bei einem Drucke gemacht habe, bei welchem die Phosphorescenz des Glases bereits erscheint, aber das Innere der Röhre noch schwache blaue Wolken strahlender Elektrodenmaterie durchfluthen. Wird die Glasröhre an der negativen Elektrode auf der vom positiven Pol abgewendeten Seite mit dem Finger oder einem Staniolstreifen ableitend berührt, so verschwinden die blauen Wolken und die Röhre zeigt eine glänzende Phosphorescenz. Die Berührung des zwischen der positiven und negativen Elektrode liegenden Röhrenstückes hat auf diese Lichterscheinung keinen Einfluss.

Bei anders geformten Gefässen findet man diese Ableitungsstelle auch zwischen der positiven und negativen Elektrode. Ist an dieser Ableitungsstelle die Glasröhre auch noch stark zusammengezogen, so gelingt es durch blosse Berührung mit dem Finger, den Strom von 4 Ctm. Funkenlänge zu unterbrechen. Diese Beobachtung habe ich mehrmals gemacht, ohne dabei die gewöhnliche physiologische Wirkung der Inductionsströme wahrgenommen zu haben.

Erwähnenswerth finde ich auch die beobachtete Thatsache, dass alle Körper, z. B. Glimmerblättchen, in den Weg strahlender Materie gebracht, bei grossen Verdünnungsgraden sehr stark elektrisch werden, so dass sie an Drähten oder Glaswänden haften bleiben; es muss daher bei Construction aller Apparate, in welchen bewegliche Theile angebracht werden sollen, auf diesen Umstand Rücksicht genommen werden.

Herr Crookes erklärt die Phosphorescenz mit den Worten, dass die strahlende Materie das Glas bombardirt, so dass dasselbe zu schwingen und zu leuchten beginnt, so lange die Entladung vor sich geht (p. 885).

Ist die Elektrode an einem elastischen Draht befestigt, so zittert sie heftig unter den Entladungen, und das flackernde Phosphorescenzlicht, begleitet von einem zirpenden Geräusch, bietet ein herrliches Schauspiel. Dabei staut sich die Elektricität in den Zuleitungsdrähten und entladet sich mit dem bekannten Geräusch unter Ozonbildung in die äussere Luft.

Dagegen schreibt darüber Herr Hittorf Folgendes: Wie ich in meiner ersten Mittheilung gezeigt, entstehen an dem kleinen

Querschnitte (eines mit Glasröhre bis auf den letzten Querschnitt umgebenen Drahtes), wenn er negativ ist, sehr heisse, wenig leuchtende aber Licht von hoher Brechbarkeit ausstrahlende Gastheilchen, welche sich gerade durch die ganze Röhre bis zur gegenüberliegenden Wand erstrecken und dieselbe phosphoresciren machen. Lässt man nun mit dem negativen Glimmlichte, das vom Querschnitte ausgeht, das Schwefelcalcium in Berührung kommen, so zeigen die getroffenen Stellen unter Erwärmung ein so intensives weisses Leuchten, dass es in dem nahe befindlichen Auge starke Nachbilder erzeugt." [1]

Die strahlende Materie (Glimmlicht) würde somit auch nach der Ansicht des Herrn Hittorf aus Gastheilchen bestehen und letztere hätten auch noch die Eigenschaft, Licht von hoher Brechbarkeit auszusenden und Phosphorescenz zu erzeugen.

Derselben Ansicht über die Ursache des Phosphorescenzlichtes ist auch Herr E. Goldstein. [2]

Um die Richtigkeit dieser Hypothese zu prüfen, habe ich in den Weg der Strahlen eine kreisrunde Aluminiumplatte gestellt, in welcher ein Ausschnitt von der Form eines Kreuzes mittelst einer 4 Mm. dicken Quarzplatte bedeckt war. Wäre die erwähnte Annahme richtig, so müsste an der Glaswand im dunklen Grunde ein phosphorescirendes Kreuz entstehen; denn die Strahlen hoher Brechbarkeit müssten durch die Quarzplatte durchgehen und an der Wand Phosphorescenz erzeugen. Das Resultat ist negativ ausgefallen.

Zu dieser Frage bemerken Prof. Reitlinger und v. Urbanitzky Folgendes: [3] „Die Fluorescenzwirkung als solche dürfte daher nur mit der Helligkeit und Beschaffenheit der Strahlen, aber nicht mit deren Ursprung an der negativen Elektrode irgendwie zusammenhängen. Die aber von der Fluorescenz als solche völlig verschiedene, in gewissen Röhren an der negativen Elektrode, auch wenn diese wenig hell ist, auftretende grüne Lichterregung des Glases verdankt nicht den das Glas treffenden Lichtstrahlen ihre Entstehung, sondern ist von den im Inneren der Röhre durch

[1] Wied. Ann. Bd. VII., p. 586.
[2] Wien. Ber., 1879.
Sitzber. d. Wiener Ak., Bd.

Stromwirkung in Bewegung gesetzten Gastheilchen eine noch unbekannte materielle oder dynamische Wirkung."

Herr E. Wiedemann bemerkt darüber in einer diesbezüglichen Mittheilung Folgendes: [1]

„Das unter dem Einflusse der Entladungen so sehr viel schnellere Auftreten des Dichroismus findet seine Erklärung in der Erwärmung der Krystalle unter dem Einflusse derselben. Doch glaube ich nicht, dass wir dieselbe als bedingt durch fortgeschleuderte Moleküle ansehen dürfen, wie Crookes meint, sondern, dass wir es hier mit diëlektrischen Verschiebungen oder Wellen zu thun haben, deren Bewegungen, wie die Lichtwellen, den Äther des festen Körpers, wo sie auftreffen, verschieben und zu Schwingungen veranlassen, die theils als Wärme, theils als Licht wahrgenommen werden."

Zum Schlusse will ich versuchen, für die Erscheinung der Phosphorescenz eine Erklärung zu geben.

Im Sinne der im Folgenden noch näher zu besprechenden Äthertheorie der Elektricität, nach welcher Franklin, Secchi, Edlund und Andere viele elektrische Erscheinungen zu erklären versuchten, haben die negativ elektrischen Elektrodentheilchen einen Mangel an Äther. Gewisse Theile der Glasröhre werden im Allgemeinen positiv, andere negativ elektrisch sein, oder vielleicht auch indifferent sich verhalten, das heisst sie haben entweder einen Überschuss oder Mangel an Äther, oder auch eine normale Äthermenge. Aus dem Zusammenprallen der negativ elektrischen Elektrodentheilchen mit den Glaswänden wird eine doppelte Wirkung resultiren. Erstens: In Folge der Stösse der mit ungeheuerer Geschwindigkeit heranfliegenden Theilchen gerathen die Glastheilchen in schwingende Bewegung, die sich als Wärme manifestiren wird. Zweitens: Zwischen den getroffenen Stellen und den anprallenden Elektrodentheilchen wird auch der relative Ätherüberschuss (Spannungsdifferenz) sich ausgleichen, wodurch die Ätherhüllen der Moleküle eine Erschütterung erfahren. Haben die getroffene Stelle und das anprallende Elektrodentheilchen gleiche Äthermengen, so findet kein Ausgleich und nur eine Erschütterung der Ätherhüllen statt,

---

[1] Wied. Ann. Bd. IX, p. 159, 1880.

die desto energischer ist, je stärker die Entladungen des elektrischen Stromes vor sich gehen. Ähnlich, wie eine ruhige Wasserfläche, von Regentropfen getroffen, in unzählige kleine Wellenbewegungen geräth, wird auch jede getroffene Stelle der Glaswand zum Mittelpunkte von Ätherwellen, welche wir als Phosphorescenzlicht sehen. Wie ferner verschieden gespannte Saiten einer Äolsharfe durch einen Luftstrom zum Schwingen veranlasst werden, und jede von ihnen einen ihrer Spannung entsprechenden Ton gibt, so erglänzt auch jeder phosphorescirende Körper in dem ihm eigenthümlichen, durch seine innere Structur und Dichtigkeitsverhältnisse des Athers bedingten Lichte. Wenn aber bei geringen Graden der Verdünnung die Elektrodentheilchen während ihrer Bewegung mit vielen Gasmolekülen zusammentreffen und, nachdem sie mit diesen ihre Äthermengen theilweise ausgeglichen, nachher die Glaswände treffen, so werden letztere entweder gar nicht oder wenig phosphoresciren, dagegen werden die Ätherhüllen der getroffenen Gasmoleküle zum Schwingen angeregt und das Gas die ihm eigenthümliche Phosphorescenz zeigen. Die Lichterscheinungen der Gase in den Geissler'schen Röhren wurden irrthümlicher Weise nach Plücker und Hittorf lange als ein Leuchten glühender Gase betrachtet. Genauere Untersuchungen des Herrn Hittorf [1] haben indessen ergeben, dass wir hier bloss mit Phosphorescenzerscheinungen zu thun haben. Diesbezügliche Versuche des Herrn E. Wiedemann ergaben, dass die Temperatur des leuchtenden Gases in der von ihm benutzten Röhre unter 60° sein musste.

Wird die Röhre einer starken Phosphorescenz wenigstens eine Minute lang ausgesetzt, so zeigt sie im vollkommen dunklen Zimmer nach der Unterbrechung des Stromes ein lang (5 bis 6 Minuten) andauerndes weissliches Nachleuchten.

Es sei hier noch bemerkt, dass auch beim Losreissen der Elektrodentheilchen die Ätherhüllen erschüttert werden und daher auch die herausfahrenden Elektrodentheilchen schon, bevor sie mit Gastheilchen oder Wänden zusammenprallen, leuchten müssen. Auf diese Weise erklärt sich, dass der „dunkle Raum" nicht absolut, sondern relativ dunkel ist.

---

[1] Wied. Ann., Bd. VII, p. 580.

Geradlinige Fortpflanzung strahlender Elektrodenmaterie und Schatten bestrahlter Körper.

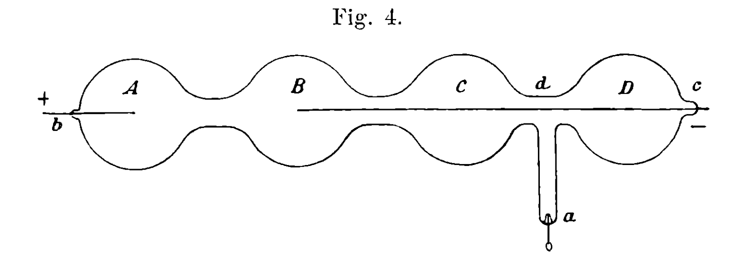
Die von Herrn Crookes beobachtete Eigenschaft strahlender Elektrodenmaterie, dass sich dieselbe in gerader Richtung bewegt, und die von ihr bestrahlten Körper auf die gegenüberliegende Glaswand einen Schatten werfen, ist auch von Herrn Hittorf bereits erkannt worden. Die geradlinige Bewegung hat er mittelst einer rechtwinkelig gebogenen Röhre nachgewiesen[1] und über den Schatten schreibt er Folgendes: „Jeder feste oder flüssige Körper, er sei Isolator oder Leiter, welcher vor der Kathode sich befindet, begrenzt das Glimmlicht, welches zwischen ihm und letzterer liegt; es findet keine Abbiegung aus der geraden Richtung statt. Befindet sich unter solchen Verhältnissen irgend ein Gegenstand in dem mit Glimmlicht erfüllten Raume, so wirft er einen scharfen Schatten auf die fluorescirende Wand, indem er eben den Lichtkegel, der von der Kathode als Spitze um seine Oberfläche geht, davon ausschliesst.“

An derselben Seite wird noch bemerkt: „Geschieht die Ausbreitung des Glimmens von den Punkten der Kathode geradlinig, so muss sie unabhängig von der Richtung des positiven Lichtes sein.“

Bei hohen Graden der Verdünnung ist die Ausstrahlung der Elektrodenmaterie auf der der Anode zugewendeten Seite der negativen Plattenelektrode stärker, als auf der abgewendeten. Ausserdem sucht die Ausstrahlung eine Kathodenstelle, welche der Anode am nächsten liegt.

In einer Kugelröhre von der in Fig. 4 dargestellten Form, in

Fig. 4.



[1] Pogg. Ann., Bd. 136, p. 8.

welcher eine Elektrode *c* ungefähr 15 Ctm. lang war, wurde bei einer bestimmten Verdünnung die Phosphorescenz der Glasröhre längs der ganzen Strecke der Elektrode *c* gesehen, und zwar unabhängig von der Lage der positiven Elektroden *a* und *b*. Bei grösserer Verdünnung zog sich die Phosphorescenz in die Kugeln ***B*** und ***C*** und zuletzt in ***B*** allein zurück, wenn der positive Pol bei *b* war. Wurde *a* zum positiven Pol gemacht, so verschwand die Phosphorescenz in ***B*** und die der Anode *a* zunächst gelegene Stelle *d* der Verbindungsröhre zeigte einen sehr hellen Phosphorescenzfleck.

An dieser Röhre beobachtete ich auch sehr scharfe, abwechselnd dunkle und hell phosphorescirende Linien, die um die Elektrode als Axe schraubenförmig schief gewunden die Glaswand soweit bedeckten, als die Elektrode reichte. Eine ähnliche Beobachtung theilen auch schon Reitlinger und v. Urbanitzky (s. 6, l. c.) mit.

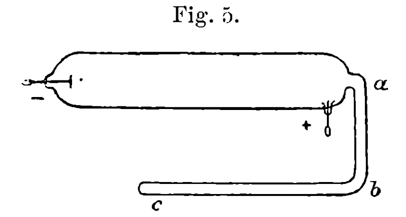
Als ich einen Draht von ungefähr 4 Ctm. Länge, der 20mal um seine Axe gedreht wurde, als negative Elektrode verwendete, erhielt ich an der Kugeloberfläche *A*, soweit als die Elektrode reichte, eine Anzahl heller und dunkler kreisförmiger, zu einander paralleler Linien, deren Ebenen auf der Elektrode senkrecht standen. Ich vermuthete daher, dass diese Linien in Folge mikroskopisch kleiner Unebenheiten an der Oberfläche des Drahtes entstehen. Der Abdruck einer Münze auf der Platinfolie zeigte jedoch, als Elektrode verwendet, nur ein sehr undeutliches und verschwommenes Bild.

Besteht die strahlende Elektrodenmaterie, welche die Phosphorescenz verursacht, aus materiellen Theilchen, so ist nicht einzusehen, warum dieselben an der Wand im Allgemeinen keine Reflexion erfahren, somit auch um die Ecke nicht biegen sollten. Dass in Fällen, in welchen die Elektrodentheilchen an der Glaswand sich niederschlagen, keine Reflexion stattfindet, ist selbstverständlich; da aber das Aluminium keinen oder wenigstens nur einen sehr schwachen Niederschlag bildet, der höchst wahrscheinlich von anderen im Aluminium enthaltenen Metalltheilchen herrührt, so wird hier die Elektrodenmaterie auch um die Ecke biegen. Eine Reflexion und Ablenkung von der geraden Richtung muss auch bei Platin- und anderen Metalltheilchen stattfinden,

wenn dieselben mit einer sehr grossen Energie anprallen, welche nach dem Stosse die Anziehungskräfte der Glaswände auf das Metalltheilchen überwinden kann. Die so reflectirte Materie wird aber durch neuen Zusammenstoss mit der Glaswand nur eine schwache Phosphorescenz veranlassen, weil ihre Theilchen die elektrischen Ladungen schon grösstentheils ausgeglichen und auch an Energie ihrer Moloculararbewegung etwas eingebüsst haben.

Ist die Röhre rechtwinkelig gebogen, so ist bei der gezeichneten Lage der Elektroden im engen Theile der Verbindungs-

Fig. 5.



röhre eine schwache Phosphorescenz zu sehen, welche bei Berührung der Röhre mit dem Finger an der gegenüberliegenden Wand als eine intensive Lichtlinie erscheint. Dieselbe Erscheinung dürften nach der gegebenen Beschreibung auch Prof. Reitlinger und v. Urbanitzky gesehen haben; nach ihrer Ansicht soll sie jedoch eine von der Fluorescenz verschiedene Lichterregung am Glase sein.[1]

Hat sich die Röhre in der Nähe der negativen Elektrode mit einem starken Metallspiegel beschlagen, so übernimmt sie bei grosser Verdünnung die Rolle einer Elektrode. Die Entladungen des Stromes gehen von der Elektrode zur Spiegelfläche und von dieser in das Innere der Röhre. Da aber Elektrodentheilchen an der Glaswand nur lose hängen, so werden sie durch die anprallenden Metalltheilchen bis zur Rothgluth erhitzt und verflüchtigt, theils durch diese Wärmebewegung, theils mechanisch durch Entladungen, die aus der Glaswand in das Innere der Röhre erfolgen. Ist der Strom stark (8 Ctm. F. L.), so sieht man von den Spiegelwänden unter prasselndem Geräusch rothe feuerige Strahlen senkrecht zur Oberfläche gegen die Mitte der Röhre hervorschiessen und die Röhre wird von Zeit und Zeit vom

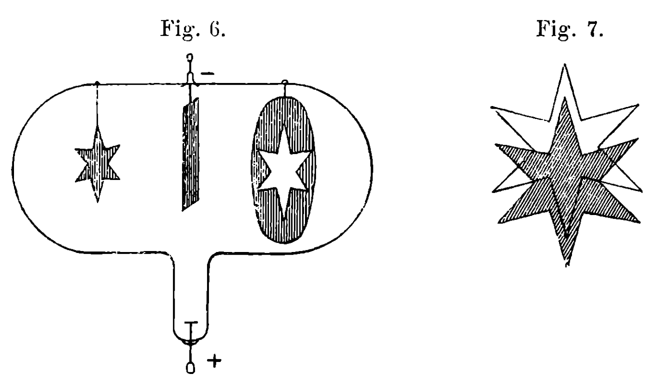
[1] Sitzb. d. Wiener Ak., Bd. 73.

blauen Glimmlichte durchfluthet unter gleichzeitigem Verschwinden der Phosphorescenz des Glases. Am besten eignen sich dazu Platinelektroden, weil sie sehr starke Spiegel geben.

Wie bereits erwähnt, geben die Körper, welche von Elektrodenmaterie bestrahlt werden, auf der phosphorescirenden Glaswand einen Schatten. Wird der Körper umgeworfen, so erscheint an der Stelle des Schattens eine viel hellere Phosphorescenz, und so sieht man beispielsweise ein helles Kreuz auf weniger hellem Grunde. Herr Crookes gibt dafür eine mehr physiologische als physikalische Erklärung, indem er sagt, dass durch das Bombardement der Moleküle strahlender Materie das Glas unempfindlich und „der aufgezwungenen Phosphorescenz müde" wird. Indessen glaube ich die Ursache darin suchen zu sollen, dass nach mehrmaligem Experiment die Glaswand sich wirklich mit Metalltheilchen beschlägt und daher die Phosphorescenz schwächer wird. Auch in Folge der Erwärmung der Glaswand muss die Phosphorescenz abnehmen.

In dem in Fig. 5 dargestellten Apparate ist auf einer Seite der plattenförmigen Elektrode von Aluminium eine runde Glimmerscheibe aufgehängt, aus welcher ein Stern ausgeschnitten ist. Der letztere ist in einiger Entfernung auf der gegenüberliegenden Seite der Elektrode angebracht, und man sieht bei Bestrahlung mittelst Elektrodenmaterie einen hellen

Fig. 6. Fig. 7.



Stern auf dunklem Grunde und auf der gegenüberliegenden Wand einen dunklen Stern auf hellem Grunde.

Wird der Versuch in der Weise angestellt, dass, während der Strom geschlossen wird, gleichzeitig ein Magnet die Strahlen

ablenkt, so werden die Strahlen auch um die Ränder schief einfallen und auch dunkle Stellen der Glaswand treffen. Man sieht gleichzeitig scharfe Conturen eines helleren und wenig hellen Sternes, die sich theilweise decken. Die Umkehrung der Schatten beruht somit nicht auf der „Unempfindlichkeit“ für die Stösse, sondern darauf, dass die Glaswand im Schatten noch rein erhalten, dagegen an exponirten Stellen mit Metalltheilchen überzogen ist.

Wärme- und Lichtwirkung strahlender Electrodenmaterie.

Ist eine plattenförmige Elektrode gekrümmt, so werden die senkrecht zur Oberfläche derselben herausfahrenden Theilchen je nach der Art der Krümmung in einer Brennlinie oder einem Brennpunkte zusammentreffen. Die Vereinigungsmittelpunkte liegen jenseits der Krümmungsmittelpunkte der Fläche. So bestimmte ich experimentell die Lage des Vereinigungspunktes bei einer kugelförmigen Schale vom Durchmester r zu $1 \cdot 7\ r$ Entfernung von derselben. In diesen Vereinigungspunkten der Strahlen prallen die Elektrodentheilchen mit grosser Heftigkeit zusammen und ein grosser Theil der Energie ihrer fortschreitenden Bewegung wird in Atombewegung umgewandelt. Es entsteht daselbst eine so starke Wärmebewegung, dass selbst schwer schmelzbare Metalle schmelzen. Herr Crookes hat auf diese Weise Iridio-Platin und Glas geschmolzen. Aber auch diese Schmelzversuche hat Herr Hittorf in seiner zweiten Mittheilung bereits beschrieben.[1] Derselbe experimentirte mit drahtförmigen Elektroden. In einem Abstande von 1—2 Mm. von der negativen Elektrode erglühte und schmolz zu einer Kugel der positive Platindraht. Dass dieser Schmelzversuch beim grösseren Abstande nicht gelingen konnte, ist selbstverständlich, denn die elektrischen Theilchen stossen sich gegenseitig ab und zerstreuen sich in grösserem Abstande vom punktförmigen Elektrodenende.

Es lag der Gedanke nahe, mittelst strahlender Elektrodenmaterie einen festen Körper zum Weissglühen und Leuchten zu bringen und dieselbe für eine Lampe zu verwerthen. Es ist mir auch gelungen, eine derartige Lampe zu construiren, welche ein

[1] Pogg. Ann., Bd. 136, p. 210 und 211.

sehr schönes und helles Licht gibt, und wenn auch wegen der Kleinheit der Lichtquelle für praktische Zwecke noch zu wenig geeignet, jedenfalls ein schönes Experiment bleiben wird.[1]

Die Lampe hat die Form eines Glaskolbens und ist mit einer kugelförmigen Aluminiumschale von 21 Mm. Halbmesser,

Fig. 8.

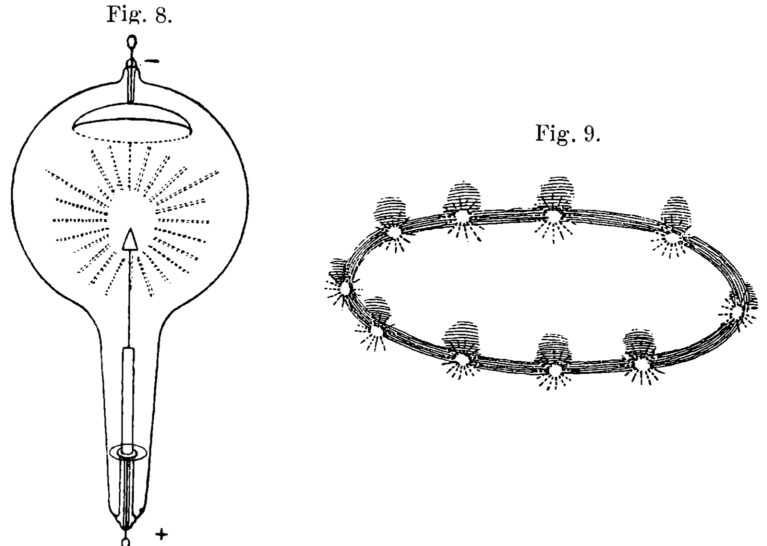


Fig. 9.

die als negative Elektrode dient, versehen. In einer Entfernung von 36 Mm. von derselben, befindet sich ein kleiner Kegel von Papierkohle, welcher mittelst dicken Platindrahtes und einem Glasstabe an die scheibenförmige positive Elektrode befestigt ist.

Ein sehr sorgfältig verkohltes und selbst bis zur Weissgluth erhitztes Papier enthält, nachher abgekühlt, noch sehr viel occludirte Gase, und es muss daher viele Stunden lang unter gleichzeitiger Anwendung starken Inductionsstromes von ungefähr 10—12 Ctm. Funkenlänge gepumpt werden, um dieselben zu entfernen und die Kohle allmälig bis zur Rothgluth und nachher bis zur Weissgluth zu erhitzen. Interessant ist es dabei das Spectrum zu beobachten, welches Strahlen von desto grösserer Brechbarkeit zeigt, je stärker die Kohle glüht. In der Weissgluth zeigt sie ein ganz

---

[1] P. S. Nachdem Spottiswoode einen Funkeninductor construirte, welcher meterlange Funken gibt, so wird es möglich sein auch grössere Kohlenstücke zum Glühen zu bringen und die Lampe zu Beleuchtungszwecken zu verwenden.

continuirliches Spectrum. Umgibt man die Lampe mit einer Milchglasglocke und ist die Kohle dünn, so merkt man ein schwaches Flackern des diffusen Lichtes. Wird die punktförmige Lichtquelle in einem Spiegel, den man um eine seiner Kanten mit der Hand schwingt, betrachtet, so sieht man ein ellipsenförmiges rothes Band, welches an einzelnen Stellen sehr glänzende Bilder der in Weissgluth aufblitzenden Kohle zeigt, umgeben auf einer Seite mit blauem Glimmlichte.

Das Weissglühen einer dünnen Papierkohle ist somit nicht continuirlich, sondern intermittirend; sie erglüht bis zur Weissgluth und verlöscht bis zur Rothgluth bei jeder Entladung des Inductionsstromes. Die Kohle zeigt selbst nach längerem Gebrauch nicht die mindeste Zerstörung oder Abnützung.

Wird eine so ausgeglühte Kohle durch Entladungen eines schwachen Inductionsstromes (2 Ctm. F. L.) bestrahlt, so zeigt sie an ihrer Oberfläche die bereits erwähnte bläulichgrüne Phosphorescenz des Diamanten.

Ist die Kohle gross, so wird dieselbe an einer Stelle ausgeglüht, auf welche der Vereinigungspunkt der Strahlen fällt. Wird der Vereinigungspunkt mittelst eines Magnetstabes auf eine andere Stelle der Kohle verschoben, so entwickelt sich augenblicklich so viel Gas, dass die Lampe auslöscht, und die Kohle nur noch roth glüht.

Für diesen Versuch braucht die Verdünnung nur ungefähr 0·04 Mm. zu sein, bei welchem Drucke die schönste Weissgluth sich erhält. Bei weiterer Verdünnung nimmt die Lichtintensität ab und die Phosphorescenz der Glaswand zu. Erfolgt die Entladung des Inductionsstromes an der Glaswand, dann erlischt das Licht, die Lampe erglänzt in einem sehr schönen grünen Phosphorescenzlichte und der Kohlenkegel glüht nur ganz schwach an der Spitze. Bei noch grösserer Verdünnung glüht die Kohle gar nicht, alle Strahlen gehen längs der Glaswand und erzeugen eine brillante Phosphorescenz.

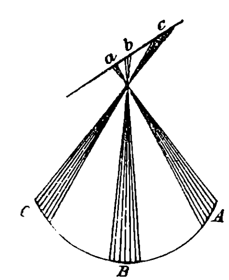
Die Entladungen längs der Glaswand sind gewöhnlich von knisterndem Geräusch und nicht selten von starkem Flackern oder vielmehr wirbelartigem Hin- und Herdrehen des Phosphorescenzlichtes begleitet; das erstere rührt von den schwachen Entladungen, welche an den Drähten und Wandungen des Glases in

die Luft erfolgen, das letztere dürfte seinen Grund in den Bewegungen der mittelst eines Drahtes befestigten schalenförmigen Elektrode haben.

Um grössere Kohlenstücke zum Glühen zu bringen, wurde in der Brennlinie einer cylindrischen Aluminiumelektrode von 20 Mm. Halbmesser ein Blättchen aus verkohltem Papier unter 45° gegen die Verticale befestigt.

Die cylindrische Elektrode wurde aus einem 3·2 Ctm. breiten und 2·5 Ctm. langen Aluminiumblech gewickelt. Da die Kohle nicht genau in der Brennlinie fixirt wurde, so entstanden drei Brennlinien, welche auf die Weise zu erklären sind, dass die Entladungen des Stromes (10 Ctm. F. L.) nicht auf der ganzen Oberfläche der Elektrode gleichmässig vertheilt waren, sondern an drei Stellen *A*, *B*, *C* erfolgten, was auch aus der Phosphorescenzerscheinung an den Glaswänden zu ersehen war.

Fig. 10.



Wurde der Strom unterbrochen, so verschwanden augenblicklich die rothglühenden Brennlinien. Dieses, sowie das erwähnte Auslöschen der weissglühenden Kohle bis zur Rothgluth, beweist, dass bei diesem hohen Grade der Verdünnung, bei welchem die Wärmeleitung der Gase nur sehr gering sein kann, die Wärmestrahlung sehr bedeutend sein muss, dass somit die aus den Versuchen gewonnenen Wärmeleitungsconstanten nicht bloss als das Mass der Wärmeleitung der Gase, sondern auch einer nicht geringen Wärmestrahlung im luftleeren Raume betrachtet werden müssen.

Elektrostatische und elektrodynamische Wirkung strahlender Elektrodenmaterie.

Die Wechselwirkung zwischen dem Glimmlichte und dem Magnet ist schon von Plücker, und in sehr eingehender und genauer Weise vom Herrn Hittorf untersucht worden, daher kann uns auch in dieser Beziehung die Crookes'sche Arbeit bis auf die Folgerung, die er aus seinen Versuchen gezogen hat, der ich jedoch nicht beipflichten kann, nichts Neues bieten.

Herr Crookes gibt zu, dass in wenig stark verdünnten Räumen die Entladung von einem Pol zum andern geht, „einen elektrischen Strom bildend, der sich ähnlich einem biegsamen Draht verhält", bestreitet aber, dass der Strom strahlender Elektrodenmaterie vom negativen Pol einen elektrischen Strom mit sich führt.

Einen Beweis dafür glaubt Herr Crookes damit erbracht zu haben, dass er zwei Ströme strahlender Elektrodenmaterie neben einander an einem phosphorescirenden Schirm erzeugt und nachweist, dass sie sich gegenseitig abstossen. Dann heisst es: „Wenn nun die Ströme strahlender Materie elektrische Ströme enthalten, so wirken sie wie zwei parallele, gleichgerichte Ströme aufeinander und ziehen sich nach Ampère's Gesetz an; bestehen sie aber einfach aus negativ elektrischen Molekeln, so werden sie einander abstossen." [1]

Die Wahrheit liegt in der Mitte. Wie bereits oben erwähnt worden ist, besteht die strahlende Elektrodenmaterie aus negativ elektrisch geladenen Theilchen, welche, mit sehr grosser Geschwindigkeit in gerader Richtung sich bewegend, die Elektricität convectiv fortführen und die Stromleitung zwischen beiden Polen vermitteln. Wären zwei solche mit statischer Elektricität geladene Theilchen in Ruhe, so müssten sie sich gegenseitig nach dem Coulomb'schen Gesetz abstossen, werden sie aber durch irgend eine Ursache in eine gleichgerichtete Bewegung versetzt, so ist nicht einzusehen, warum sie während dieser Bewegung sich gegen einander anders verhalten sollten. Je zwei nach gleicher Richtung sich bewegende negativ elektrische Theilchen, somit auch zwei parallele Ströme strahlender Materie werden sich daher nach dem Coulomb'schen Gesetz abstossen, zum Unterschiede von den galvanischen Strömen, welche nach dem Ampère'schen Gesetz sich gegenseitig anziehen.

Es sei hier noch bemerkt, dass auch zwei Ströme strahlender Elektrodenmaterie höchst wahrscheinlich sich gegenseitig anziehen würden, wenn die Geschwindigkeit der Bewegung der Elektrodentheilchen von derselben Ordnung wäre, wie jene der Elektricität in festen Leitern. Bei geringer Geschwindigkeit wird

---

[1] Strahlende Materie, p. 31.

die elektrodynamische Wirkung durch die elektrostatische überwunden. Bei der Wechselwirkung galvanischer Ströme verschwindet umgekehrt die elektrostatische Abstossung gegen die elektrodynamische Anziehung, ist aber nicht gleich null, wie es die Versuche des H. Herwig zeigen.[1] Derselbe fand, dass die elektrodynamische Anziehung zweier Rollen verschieden ist, je nachdem beide in demselben Stromkreise nahe an demselben Pol oder an verschiedenen Polen eingeschaltet waren. Die elektrodynamische Anziehung ist im ersten Falle etwas kleiner als im zweiten. Im ersten Falle sind die Rollen mit gleichnamiger, freier Elektricität geladen und die elektrodynamische Anziehung wird durch die elektrostatische Abstossung geschwächt; im letzteren Falle summiren sich beide Wirkungen, weil die elektrostatischen Ladungen beider Rollen ungleichnamig sind.

Dass die Ströme strahlender Elektrodenmaterie nichtsdestoweniger wirkliche elektrische Ströme darstellen, beweist ihr elektromagnetisches Verhalten, welches dieselben Gesetze befolgt, wie die Wirkung galvanischer Ströme. Die gegenseitige Abstossung zweier Ströme strahlender Elektrodenmaterie kann nur als ein sicherer Beweis dafür gelten, dass der elektrische Strom, durch Fortführung elektrisch geladener Theilchen entsteht und dass wir hier den Fall einer elektrischen Convection molecularer Leiter haben, analog jener elektrischen Convection körperlicher Leiter, welche, wie die schönen Versuche von Herrn Rowland beweisen, elektrodynamisch genommen, gleichwerthig ist der Strömung der Elektricität in den Leitern selbst.

Dass auch für die Convection molecularer Leiter dieselben Gesetze gelten werden, wie für jene der körperlichen Leiter, darüber dürfte kaum Jemand zweifeln. Jedes mit statischer Elektricität geladene Elektrodentheilchen, welches in fortschreitender Bewegung begriffen ist, wird sich gegen einen Magnetpol ebenso verhalten, wie ein mit der Bewegungsrichtung positiv geladener Theilchen gleichgerichteter oder der Bewegungsrichtung negativ geladener Theilchen entgegengesetzt fliessender, positiver elektrischer Strom. Jedes elektrische Theilchen, das eine gewisse

---

[1] Pogg. Ann. 149.

Strecke durchfliegt, stellt uns einen in Wirklichkeit vorhandenen „Elementarstrom", den wir bis jetzt als eine mathematische Grösse unserer elektrodynamischen Rechnungen zu Grunde gelegt haben.

Da in dem evacuirten Raume, wie wir bereits erkannt haben, die Elektrodentheilchen negativ elektrisch sind, und sich vom negativen zum positiven Pol bewegen, so ist nach dem Obigen die Wirkung des durch moleculare Convection erzeugten Stromes auf einen Magnetpol dieselbe, wie ihn ein gegen die Bewegung der negativ geladenen Theilchen, also vom positiven zum negativen Pol fliessender positiver elektrischer Strom erzeugen würde.

Auch bin ich davon fest überzeugt, dass die hier angeführten Gesetze durch Versuche sich bestätigen lassen werden. Beispielsweise müsste ein durch eine Röhre fliessender, elektrisirter Dampfstrom eine Magnetnadel in einer Weise ablenken, wie sie sich aus dem Obigen ergibt. Diesbezügliche Versuche hoffe ich in Kurzem ausführen zu können und erlaube mir an dieser Stelle noch die Bemerkung zu machen, dass ich in meiner Überzeugung von der Richtigkeit obiger Anschauung auch durch einen Versuch des Herrn Donato Tomasi [1] bestärkt bin, welcher einen Eisencylinder magnetisch machte, indem er einen Dampfstrom von 5—6 Atmosphären Druck durch eine um den Cylinder spiralförmig gewundene Kupferröhre von 2—3 Mm. Durchmesser streichen liess.

Zu einer diesbezüglichen Notiz in den Annalen machte Poggendorff die Bemerkung: „Zum Gelingen dieses Versuches müssen aber wohl die Bedingungen erfüllt sein, welche Faraday als nothwendig zur gehörigen Elektrisirung des Dampfstromes bezeichnet hat."

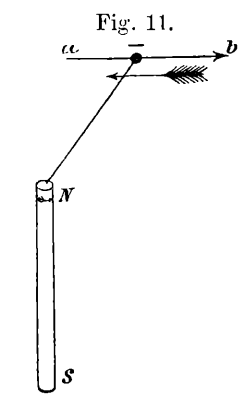
Dass Herr Tomasi die elektrische Convection molecularer Leiter beobachtete, halte ich für nicht unwahrscheinlich.

Legen wir durch die Bewegungsrichtung ab des negativ elektrischen Elektrodentheilchens und den Magnetpol N eine Ebene — es sei die Papierebene — so repräsentirt uns das Theilchen während seiner Bewegung einen positiven Elemen-

---

[1] Pogg. Ann., Bd. 155, p. 176.

Fig. 11.



tarstrom in der entgegengesetzten Richtung, welche durch den unteren Pfeil angegeben ist, und nach dem Laplace'schen Gesetz ist die Wechselwirkung zwischen dem Elementarstrom und dem Nordpol durch ein Paar von Kräften normirt, welche auf der Ebene $a\,b\,N$ senkrecht stehen und deren Intensität dem Quadrate der Entfernung zwischen beiden umgekehrt, sowie dem Sinus des Winkels, den die augenblickliche Bewegungsrichtung $a\,b$ mit dem Pol bildet, direkt proportional ist.

Nach der Ampère'schen Regel lässt sich ferner bestimmen, nach welcher Seite von der erwähnten Ebene ($a\,b\,N$) das Theilchen abgelenkt wird. Ist der Pol nordmagnetisch, so wird das Elektrodentheilchen für den Beobachter, der gegen den Pol schaut und mit dem imaginären positiven elektrischen Strome schwimmt, nach rechts abgelenkt.

Bewegt sich dagegen der Beobachter des Nordpols mit dem Elektrodentheilchen in gleicher Richtung, so wird das letztere nach links abgelenkt.

Da ferner für einen endlichen Magnet die Tangente an die magnetische Curve, welche durch das Elektrodentheilchen geht, die Richtung nach dem Pol darstellt, so steht die Kraft, welche das Elektrodentheilchen ablenkt, senkrecht auf der Ebene, welche durch die Bewegungsrichtung des Theilchens und die magnetische Curve seines augenblicklichen Ortes gelegt werden kann.

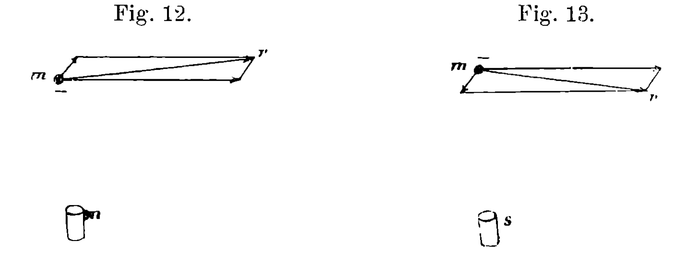
Aus den Gesetzen elektrischer Convection der Molecüle lassen sich mit Zuhilfenahme der Ampère'schen Regel, alle Wechselwirkungen zwischen dem Magnet und einem Strome Elektrodenmaterie erklären und vorausbestimmen.

Es sollen hier einige einfache Fälle näher erörtert werden:

1. Der Magnetpol n und das Elektrodentheilchen m, welches sich nach rechts mit einer sehr grossen Geschwindigkeit in der Richtung des Pfeiles bewegt, befinden sich in der Papierebene. Der Pol ertheilt dem Theilchen eine kleine Geschwindigkeit unter die Papierebene oder auf die linke Seite des Beobachters, der auf dem Elektrodentheilchen sitzt und gegen den n-Pol

schaut. Das Theilchen wird sich mit der resultirenden Geschwindigkeit *mr* unter die Papierebene bewegen und von der ursprüng-

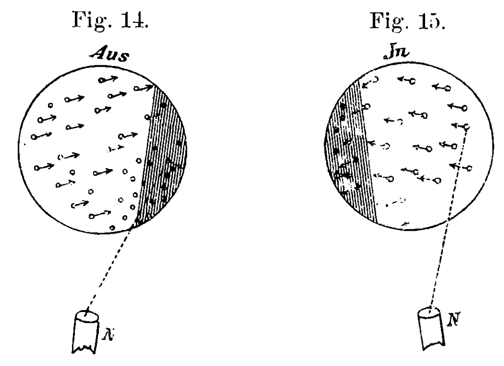
Fig. 12. Fig. 13.



lichen Richtung desto stärker abweichen, je stärker die magnetische Wirkung und je kleiner die Geschwindigkeit ist, mit der das Theilchen von der Elektrode fortgeschleudert wird. Beim Südpol wird die Bewegungsrichtung vor die Papierebene fallen.

2. Magnetpol *N* und ein Querschnitt der Röhre, aus welchem die Theilchen in normaler Richtung zu demselben herausfahren, befinden sich in der Papierebene. Jedes Theilchen erhält eine Ablenkung in der Richtung der kleinen Pfeile, daher wird das Licht auf eine Seite zusammengedrängt. In der Fig. 15 bewegen

Fig. 14. Fig. 15.



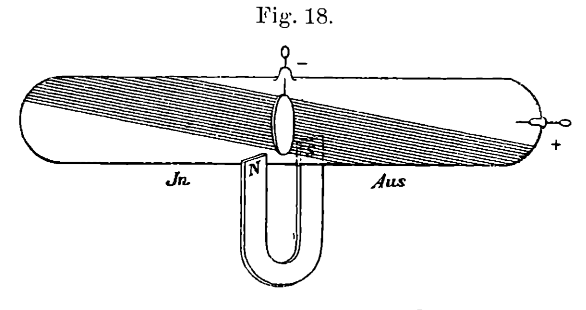
sich die Theilchen normal unter die Papierebene daher kehren sich ihre Richtungsverhältnisse um. Beim Südpol werden die Lichterscheinungen in beiden Fällen sich umkehren.

3. Nach dem Vorhergehenden sind die nachfolgenden Zeichnungen leicht verständlich. Die Wirkung beider Pole ertheilt dem Elektrodentheilchen im ersten Falle eine resultirende Geschwindigkeit *mr* nach unten, im zweiten nach oben. Es werden somit die Theilchen im ersten Falle nach unten, im zweiten nach oben von ihrer ursprünglichen Bewegungsrichtung abgelenkt.

Fig. 16. Fig. 17.

Die untenstehende Zeichnung veranschaulicht beide Fälle in einer Röhre, in welcher aus der scheibenförmigen Elektrode

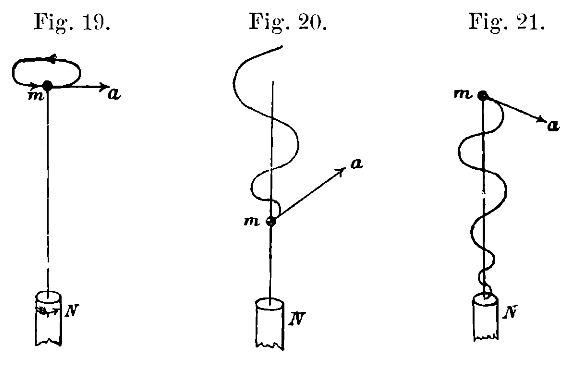
Fig. 18.



die Theilchen nach entgegengesetzten Richtungen fortgestossen werden.

4. Ist die anfängliche Geschwindigkeit der Elektrodentheilchen klein, wie es beim grösseren Drucke im dunklen Raume des Glimmlichtes der Fall ist, so wird ein aus der Elektrode herausfahrendes Theilchen von der ursprünglichen Richtung sehr stark abgelenkt und, da die Wirkung des Magnetes eine stetige

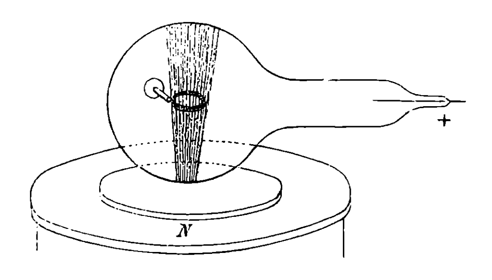
Fig. 19. Fig. 20. Fig. 21.



ist, die Richtung der Bahn des Theilchens stets geändert. Das Theilchen bewegt sich je nach der Lage seiner Bewegungsrichtung gegen die Kraftlinien des Magnetes in Curven einfacher oder doppelter Krümmung. In Fig. 19 wird das Theilchen *m* in einer zur Kraftlinie *mn* senkrechten Richtung *ma* fortgeschleudert und rotirt im Sinne des Molecularstromes des Poles, so dass die Rotationslinie auf der Kraftlinie senkrecht steht. Bildet die Anfangsgeschwindigkeit mit der Kraftlinie einen spitzen oder stumpfen Winkel, so bleibt der Sinn der Drehung derselbe, aber die Rotationsebene ändert sich stetig und es entsteht eine Bahn doppelter Krümmung, welche nach unten wegen zunehmender magnetischer Wirkung stärker gekrümmt ist.

5. Aus einer punktförmigen Elektrode werden die Theilchen in divergirenden Richtungen fortgeschleudert und winden sich bei Annäherung des Nordpols um einen Kegel, dessen Spitze gegen den Nordpol gekehrt ist und dessen Axe mit der Kraftlinie der punktförmigen Elektrode zusammenfällt. Hierin liegt die Erklärung der schönen Lichterscheinungen im Glimmlichte, die Herr Hittorf unter Einwirkung starker Magnete erhält. Ich erlaube mir, hier die Zeichnung seiner Versuche aufzunehmen, welche die drei oben besprochenen Fälle darstellen.

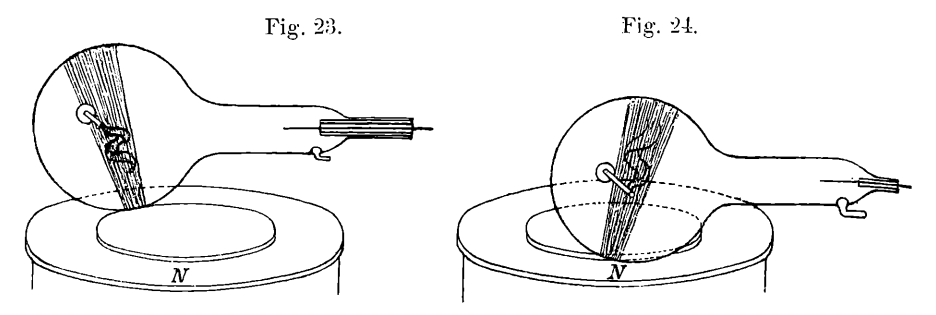
Fig. 22.



Die drahtförmige Elektrode ist bis auf den letzten Querschnitt mit einem Glasröhrchen umgeben und steht in Fig. 22 auf der verticalen Kraftlinie senkrecht, daher in der Mitte eine kreisförmige Lichterscheinung. Ist der Magnet sehr stark, so zieht sich der Lichtkegel auf eine Linie zusammen und die Rotation der leuchtenden Theilchen ist nicht mehr zu unterscheiden.

Da aus dem letzten Querschnitte der Elektrode nur wenige Strahlen divergiren, so sind die spiralförmigen Windungen im oberen und unteren Theile des Lichtkegels kaum zu sehen. Dagegen erscheinen die Windungen sehr schön und deutlich, wenn

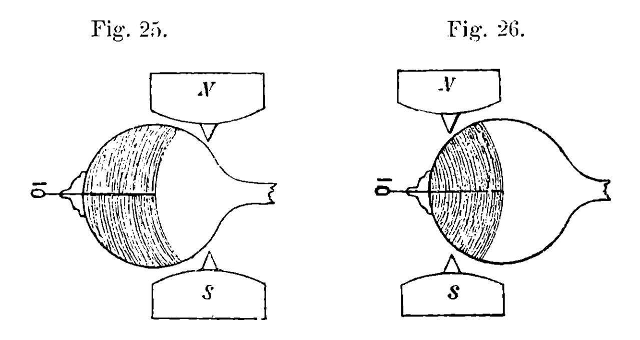
Fig. 23. Fig. 24.



das Strahlenbündel mit der Kraftlinie einen spitzen oder stumpfen Winkel bildet, wie aus Fig. 23 und 24 zu ersehen ist.

6. Ebenso leicht lassen sich die von Plücker beobachteten magnetischen Flächen des Glimmlichtes erklären, worunter man jene Flächen versteht, zu welchen das Glimmlicht unter dem Einflusse eines starken Elektromagnetes ausgebreitet wird und durch die Gesammtheit aller durch die einzelnen Punkte der negativen Elektrode und die beiden magnetischen Pole gehenden magnetischen Curven gebildet werden.

Fig. 25. Fig. 26.



Beide Pole und die negative Elektrode liegen in der Papierebene. Aus der Drahtelektrode fahren die Theilchen radial nach allen Richtungen senkrecht zur Axe derselben aus.

Diejenigen Theilchen, welche aus dem Draht senkrecht zur Papierebene nach oben oder unten emittirt werden, stehen senk-

recht auf den Kraftlinien, welche durch die Elektrode gehen. Diese Theilchen müssen daher im übereinstimmenden Sinne der Molecularströme der beiden Pole um die Kraftlinie in sehr kleinen Kreisen rotiren. Alle anderen Theilchen, welche schief zur Papierebene oder in derselben aus der Elektrode herausfliegen, bilden mit den Kraftlinien schiefe Winkel, müssen daher um die letzteren gegen die Pole spiralförmig sich drehen und bilden eine Lichtfläche in der Papierebene.

Es lassen sich somit alle Erscheinungen, welche sowohl die strahlende Elektrodenmaterie, als auch das Glimmlicht unter dem Einflusse eines Magnetes zeigen, aus jenen Gesetzen vollständig erklären, welche für die elektrische Convection körperlicher Leiter experimentell bestimmt und mittelst Induction von mir auch auf moleculare Elektrodentheilchen ausgedehnt sind. Die Lösung dieser Aufgabe wurde dadurch ermöglicht, dass es gelang, die Bewegungsrichtung der Elektrodentheilchen und ihren elektrostatischen Zustand festzustellen.

Diese Gesetze elektrischer Convection scheinen indessen auf das positive Büschellicht keine Anwendung zu finden, und die Ansicht, dass hier der elektrische Strom durch Bewegung der Elektricität in der Gassäule, ähnlich wie in einem ruhenden festen Leiter, entsteht, scheint durch das Verhalten des positiven Lichtbüschels gerechtfertigt zu sein. Ähnlich wie in festen Leitern die Moleküle, welche in Wärmebewegung begriffen sind, dem Strome einen Durchgang gestatten, ohne ihre relativen Gleichgewichtslagen zu ändern, scheint auch in Gasen von bestimmter Dichte die Elektricität von Querschnitt zu Querschnitt sich zu entladen, ohne dass die Gleichmässigkeit ihrer Molecularbewegung oder auch andere oscillatorische Bewegungen dadurch alterirt werden.

Es verhält sich daher das positive Büschellicht gegen den Magnet ebenso, wie ein sehr leicht biegsamer Draht, der in gleicher Richtung wie die Luftsäule vom positiven Strome durchflossen wird. Ist das Büschellicht geschichtet, so werden auch die Schichten durch den Magnet auf jene Seite der Röhre zusammengedrängt, die sich aus dem Laplace'schen Gesetze ergibt.

Gehen alternirende Ströme hindurch, so sammelt sich, wie leicht einzusehen ist, das positive Büschellicht in einer zur Plücker'schen Fläche senkrechten äquatorialen Ebene, und man

erhält eine von Prof. Reitlinger und v. Urbanitzky beobachtete Lichterscheinung, welche ich Dreifächerfläche nenne, weil sie drei zu einander senkrecht stehende Fächer zeigt. Bei Umkehrung des Stromes muss die positive Fläche auf der entgegengesetzten Seite der Plücker'schen Fläche entstehen und die Dreifächerfläche scheint eine Drehung von 180° um die drahtförmige Kathode erfahren zu haben.[1]

Bewegungserscheinungen in strahlender Elektrodenmaterie.

Nachdem wir das Wesen strahlender Elektrodenmaterie erkannt haben, wird uns die Erklärung einiger durch dieselbe veranlassten Bewegungserscheinungen in evacuirten Gefässen keine Schwierigkeit bieten. Herr Crookes beschreibt einige Maschinchen, deren Flügelräder mittelst strahlender Elektrodenmaterie in der Richtung vom negativen zum positiven Pol bewegt wurden. Durch Umkehrung des Stromes wurde auch der Sinn der Drehung umgekehrt.

Die Zeichnung Fig. 27 stellt ein elektrisches Radiometer dar.[2] Auf einer Nadelspitze ist mittelst Glashüttchens ein Rädchen von ungeschwärztem Glimmer aufgesetzt und zwei plattenförmige Elektroden excentrisch in das Glasgefäss eingeschmolzen. Um eine starke Wirkung zu bekommen, wurden die Elektroden

---

[1] Wiener Akad. Anzeiger, 1877, Nr. X.

[2] Sämmliche in vorliegender Abhandlung beschriebenen Glasapparate habe ich selbst ausgeführt und erlaube mir an dieser Stelle für Jene, die in die Lage kommen sollten, derartige Apparate anzufertigen mitzutheilen, dass es genügt, dünne Platindrähte von 0·2 Mm. Durchmesser als Elektroden zu nehmen, welche sich mit grosser Leichtigkeit einschmelzen lassen und luftdicht halten. Bei dicken Drähten springt das Glas an der Schmelzstelle, was bei gewissen Glassorten trotz aller Vorsicht fast immer der Fall ist. Am besten eignet sich für diese Arbeiten das Thüringer Glas. Vor dem Einschmelzen werden die Drähte mit dünnen Glasröhrchen überzogen und beim Einschmelzen derselben die Schmelzstelle des Gefässes gehörig ausgeblasen, nachher in einer grösseren Flamme etwas ausgeglüht und langsam abgekühlt. Complicirtere Apparate, wie die elektrischen Radiometer, welche mehrere Schmelzstellen haben, müssen, wenn sie fertig sind, an ihrer ganzen Oberfläche schwach ausgeglüht und langsam abgekühlt werden, damit die Spannungen im Glase sich ausgleichen.

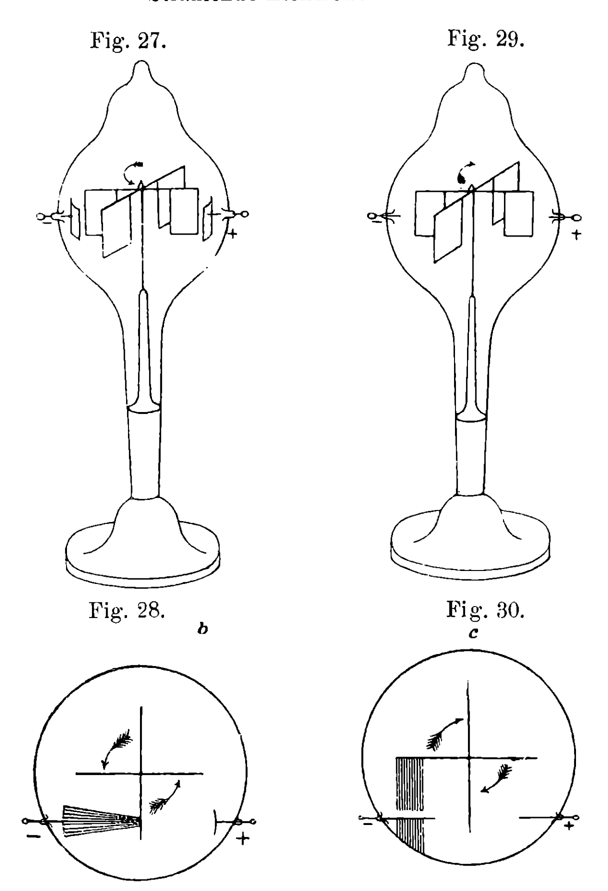


Fig. 27. Fig. 29. Fig. 28. Fig. 30.

cylindrisch gewickelt, so dass ihre Brennlinie ungefähr auf die Mitte eines Flügelblättchens fielen, wenn sich dasselbe zwischen ihnen befand.

Fig. 28 stellt den Querschnitt des Apparates dar. Das Rädchen dreht sich in der Richtung der Bewegung strahlender Elektrodenmaterie vom negativen zum positiven Pol.

Herr F. Zöllner beschreibt in der dritten Abhandlung seiner „Untersuchungen über die Bewegungen strahlender und bestrahlter Körper" einen Versuch, den Geissler auf der letzten Naturforscherversammlung in Hamburg mitgetheilt, und den er selbst mit gleichem Erfolge wiederholte.[1] Als Elektroden waren zwei Platindrähte eingeschmolzen und das bewegliche Kreuz

[1] Pogg. Ann., Bd. 160, p. 464.

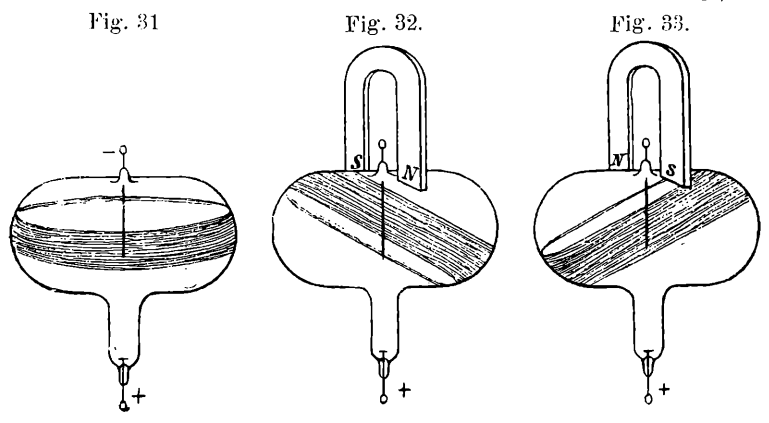
bestand aus ungeschwärzten Glimmerblättchen. Wurde bei 1 Mm. Spannung durch das Gefäss der Inductionsstrom eines kleinen Rühmkorff'schen Apparates geleitet, so rotirte das Kreuz stets in solcher Richtung, „wie sie einer Emission von materiellen Theilchen von der positiven Elektrode entspricht." Bei Umkehrung des Stromes wechselte die Rotationsrichtung des Kreuzes.

Es war für mich von grossem Interesse, zu constatiren, ob diese Drehung im Sinne der Emission der Theilchen von der positiven Elektrode auch bei einem Drucke stattfindet, bei welchem die strahlende Elektrodenmaterie zum Vorschein kommt. Ich machte den Versuch mit einem in Fig. 29 dargestellten Radiometer, welches mit zwei drahtförmigen Elektroden versehen ist. Bei einem Drucke 0·03 Mm. rotirte das Rädchen entgegengesetzt derjenigen Richtung, in welcher es bei plattenförmigen Elektroden rotiren müsste.

Es entsteht nun die Frage, werden die Elektrodentheilchen von der positiven oder negativen Elektrode emittirt und wie ist jene Umkehrung der Rotationsrichtung zu erklären?

Diese Frage findet ihre Lösung durch folgenden, sehr einfachen Versuch.

Wird durch ein cylindrisches Glasgefäss, in welches ein langer Draht bis ungefähr in die Mitte desselben hineinragt, ein



Inductionsstrom geleitet, so zeigt das Gefäss, wenn der Draht als negative Elektrode benützt wird, eine phosphorescirende Äquatorialzone (Fig. 31), welche Lichterscheinung eine gegen die Elektrode schräge Stellung annimmt, sobald das Glasgefäss mit den

Schenkeln des Hufeisenmagnetes auf eine in Fig. 32 und Fig. 33 dargestellten Weise umfasst wird.

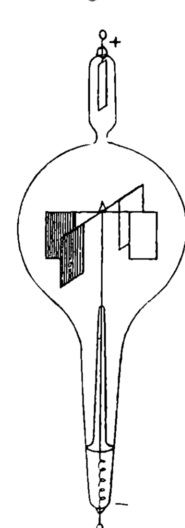
Die leuchtende Aequatorialzone kann nur auf die Weise entstehen, dass die Elektrodentheilchen senkrecht zur Axe des Drahtes nach allen Richtungen emittirt werden. Dass auch der letzte Querschnitt des Drahtes senkrecht zur Oberfläche Theilchen emittirt ist selbstverständlich, nur ist ihre Zahl im Verhältniss zu den seitwärts fortgeschleuderten sehr gering.

Jetzt ist es leicht zu verstehen, warum im Radiometer mit drahtförmiger Elektrode bei gleicher Stromrichtung das Rädchen sich entgegengesetzt dreht, als das Rädchen mit plattenförmigen Elektroden. Es ergibt sich aus der Zeichnung Fig. 30 auf den ersten Blick, dass die seitliche Emission des Drahtes das Rädchen entgegengesetzt drehen muss.

Bei einem sehr hohen Grade der Verdünnung (0·01 Mm.) kehrt das Rädchen um und rotirt im Sinne der Emission der Theilchen vom negativen zum positiven Pol. Dies erklärt sich damit, dass bei dieser Verdünnung die Emission der Theilchen nur am letzten Querschnitte des Drahtes erfolgt.

Es findet somit eine Emission der Theilchen nicht am positiven, sondern nur am negativen Pol statt.

Fig. 34.



Dass dieselbe Erklärung auch für die Umkehrung der Drehungsrichtung bei 1 Mm. Druck gilt, ist selbstverständlich, nachdem wir erkannt haben, dass auch bei diesem Verdünnungsgrade Theilchen von der negativen Elektrode ausgesendet werden, welche in das zurückgebliebene Gas diffundirend, das letztere zur Phosphorescenz bringen und daher an der Glaswand keine Phosphorescenz erzeugen können.

Complicirter sind die Bewegungserscheinungen in dem von Herrn Crookes beschriebenen, in Fig. 34 dargestellten elektrischen Radiometer. Das Kreuz, welches mittelst eines Eisenhüttchens auf einer Nadelspitze ruht, besteht aus vier einerseits mit Glimmer belegten Aluminiumblättchen und die Nadel ist mittelst eines Drahtes mit dem in das Glas eingeschmolzenen Platinende

verbunden, welches letztere als negativer Pol benützt wird. Im oberen Theil des Gefässes ist noch ein zweiter Platindraht mit einem kleinen Aluminiumblättchen eingeschmolzen und dient als positiver Pol. Bei dem Radiometer, mit welchem ich experimentirte, war das obere Röhrchen bei *a* stark eingezogen (ungefähr bis auf 3 Mm. Durchmesser). Wurde diese Stelle während des Durchganges eines Inductionsstromes von 4 Ctm. FL., bei 0·03 Mm. Druck mit dem Finger berührt, so verschwand im Inneren die Lichterscheinung und es erfolgte abermals eine Entladung des Stromes, so oft die Stelle freigelassen wurde. Dieser Versuch gelang nur, wenn der obere Draht als negativer Pol verwendet wurde.

Herr Crookes beobachtete an diesem Apparate bei der in der Zeichnung dargestellten Lage der Pole eine Drehung des Kreuzes mit der Glimmerseite vorwärts, und zwar bei einem Drucke, welcher ein „wenig jenseits dessen liegt, bei dem der dunkle Raum um den negativen Pol sich bis an die Wand der Kugel ausbreitet". Die Drehung beginnt bei ungefähr 0·5 Mm. Druck. Diese Bewegung erklärt Herr Crookes auf folgende Weise: [1]

„Da die Moleküle heftig vom Pol fortgetrieben werden, so müssen sie einen Rückstoss auf den Pol ausüben, und wenn man in einem Apparate den negativen Pol beweglich und den Körper, der den Stoss der strahlenden Materie empfängt, fest macht, so kann dieser Rückstoss (durch Bewegung des Poles J. P.) sichtbar gemacht werden."

Nach der Ansicht des Herrn Hittorf[2] rotirt die Mühle erst wenn die heissen Glimmstrahlen die Glaswände des Gefässes erreichen und die berührten Stellen erhitzen. „Erst die Wärmestrahlung der Glaswände erzeugt die Rotation."

Indessen sind beide Erklärungen nicht richtig. Von der Unrichtigkeit der Hittorf'schen Ansicht überzeugt man sich leicht, indem man das Glasgefäss eines derartigen Radiometers durch Berührung mit der Hand erwärmt. Das Rädchen dreht sich, selbstverständlich wenn kein Strom geht, mit dem Aluminium und nicht mit dem Glimmer vorwärts. Da meines Wissens dieser

---

[1] Strahlende Materie, p. 23.

[2] Wied. Ann., Bd. VII, Heft 4, p. 607.

Versuch bis jetzt nicht erklärt worden ist, so möge auch eine diesbezügliche Notiz im weiteren Theile dieser Abhandlung folgen.

Behufs Widerlegung der Crookes'schen Erklärung will ich hier einige Versuche vorausschicken, die ich mit dem beschriebenen Radiometer ausgeführt habe.

Wird für eine gleichmässige Temperaturvertheilung im Radiometer gesorgt, so dreht sich das Rädchen bei einem Drucke von ungefähr 0·2 Mm. unmittelbar nach dem Schliessen des Stromes ein- bis zweimal mit dem Aluminium vorwärts, bleibt dann stehen, kehrt um und dreht sich mit dem Glimmer vorwärts, so lange, als der Strom geschlossen bleibt. Wird nachher der Strom unterbrochen, so dauert die Drehung noch immer fort, und zwar desto länger, je stärker der Strom gewesen ist.

Diesen Versuch wiederholte ich sehr oft mit gleichem Erfolge. Folgen die Versuche unmittelbar auf einander, ohne dass eine gleichmässige Temperaturvertheilung abgewartet wird, so rotirt das Rädchen immer nach der Glimmerseite.

Bei fortgesetzter Verdünnung wird die Zahl der anfänglichen Umdrehungen nach der Aluminiumseite immer grösser und ebenso auch die Geschwindigkeit der Drehung nach der Umkehrung. Wird der Strom unterbrochen, so rotirt das Rädchen mit einer Heftigkeit, die ich an den empfindlichsten Radiometern nicht beobachtet habe. Die einzelnen Blättchen sind nicht mehr zu unterscheiden.

Ist der Druck so klein, dass bereits die Phosphorescenzerscheinung der Glaswände sich zeigt, ungefähr 0·04 Mm., so rotirt das Rädchen nur nach der Aluminiumseite und die Umkehrung der Rotation nach der Glimmerseite findet erst nach Unterbrechung des Inductionsstromes statt, und dauert 5 — 6 Minuten oder auch länger, je nach der Intensität des Stromes und Dauer seiner Wirkung.

Der vollständige Verlauf dieser Bewegungserscheinungen ist von H. H. Hittorf und Crookes nicht beobachtet und daher ist es denselben auch nicht leicht möglich gewesen, eine richtige Erklärung derselben zu finden.

Zwei in ihren Wirkungen entgegengesetzte Ursachen sind es, durch welche diese Rotationsbewegungen normirt werden:

1. Die strahlende Elektrodenmaterie, 2. die Wärmebewegung, welche der elektrische Strom in den Aluminiumblättchen erzeugt.

Die an- und zurückprallenden Gasmoleküle üben auf die durch den Strom stärker erwärmte Aluminiumseite eine Reaction und desshalb bewegt sich das Rädchen mit dem Glimmer vorwärts.

Der elektrische Strom leistet ausserdem noch eine Arbeit, indem er Theilchen an der Aluminiumseite losreisst und dieselben fortschleudert. Würden die Kräfte, welche diese Emission von Theilchen veranlassen, innere Kräfte sein, d. h. solche, dass einer Action eine Reaction entsprechen würde, so müssten die Flügel, wie Herr Crookes erwartet hat, sich in einer der Emission der Elektrodentheilchen entgegengesetzter Richtung drehen. Wie aber der letzte Versuch bei 0·04 Mm. Druck zeigt, rotirt das Rädchen in derselben Richtung, in welcher die Emission von Theilchen erfolgt und entgegengesetzt jener Richtung, in welcher es in Folge Wärmewirkung rotiren müsste.

Diese zwei Ursachen wirken gleichzeitig auf die Flügel, so lange der Strom geschlossen bleibt, und können sich gegenseitig in ihren Wirkungen schwächen oder auch ganz aufheben. Wird der Strom geschlossen, so ist im ersten Augenblick die Erwärmung des Aluminiumblättchens sehr gering und es überwindet die Strahlung der Elektrodenmaterie und veranlasst eine anfängliche Drehung nach der Aluminiumseite. Nach einiger Zeit wird die Wärmewirkung gleich der der Elektrodenmaterie und zuletzt wird die erstere grösser, als die letztere. Nach Unterbrechung des Inductionsstromes bleibt nur noch die Wärmewirkung, und die Drehung nach der Glimmerseite findet so lange statt, bis die Temperatur in den Blättchen sich ausgeglichen hat.

Bei fortgesetzter Verdünnung wird der Widerstand für den Inductionsstrom, also auch die Energie der Entladungen und der Strahlung von Elektrodentheilchen grösser, andererseits der Luftwiderstand, der die Bewegung der Flügel hemmt, geringer, daher die Zahl der anfänglichen Umdrehungen nach der Aluminiumseite und ebenso die Rotationsgeschwindigkeit nach der Glimmerseite beim geschlossenen und offenen Strom grösser.

Bei sehr kleinem Drucke überwindet die Wirkung strahlender Elektrodenmaterie die Wärmewirkung, das Rädchen bewegt sich

nur nach der Aluminiumseite, solange der Strom geschlossen bleibt; bei Unterbrechung desselben bleibt nur die Wärmewirkung zurück und das Rädchen muss in entgegengesetzter Richtung rotiren.

Eine Theorie ist nur dann richtig, wenn die Folgerungen, zu denen sie führt, sich durch Versuche bestätigen lassen. Wir wollen daher die gegebene Erklärung der radiometrischen Bewegungserscheinungen auch dieser Prüfung unterziehen und denken uns der Einfachheit halber ein fixes Aluminiumkreuz, dessen Flügel einerseits mit Glimmer bedeckt sind. Eine das Kreuz umschliessende würfelförmige Mantelfläche von Glimmer sei um eine verticale Axe drehbar. Die Zeichnung Fig. 35 zeigt uns den Querschnitt des Kreuzes und der Mantelfläche; die schwarzen Seiten des Kreuzes bedeuten Aluminium.

Bei mässiger Verdünnung, bei welcher die Wärmewirkung überwiegt, prallen die Gasmoleküle an der Aluminiumseite mit grösserer Geschwindigkeit zurück, bewegen sich mit den herausfahrenden Elektrodentheilchen gegen die Mantelfläche und geben eine Druckresultante, ungefähr in der Mitte des Quadranten, in der

Fig. 36.

Fig. 35.

Richtung des Pfeiles. Eben solche Druckkräfte wirken auch in den übrigen Quadranten. Aus der Zeichnung ergibt sich der

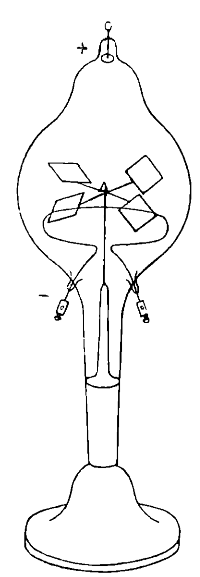
Sinn der Drehungsrichtung der Mantelfläche, welcher entgegengesetzt ist der Drehungsrichtung des beweglichen Kreuzes.

Bei einem sehr hohen Grade der Verdünnung, wenn die Wirkung strahlender Elektrodenmaterie die Wärmewirkung überwiegt, werden die Elektrodentheilchen mit grosser Heftigkeit gegen die Mantelfläche fortgeschleudert und es muss daher der Sinn der Drehung der Mantelfläche derselbe sein, wie im ersten Falle.

Während man also an einem beweglichen Kreuze eine Umkehrung der Rotationsrichtung beobachtet, müsste eine würfelförmige und ebenso auch eine cylindrische Mantelfläche sich nur in einer Richtung drehen.

Diese Folgerung der gegebenen Theorie der Bewegungserscheinungen hat sich durch das Experiment vollkommen bestätigt. Das Radiometer, welches ich zu diesem Zwecke construirte, bestand nur aus zwei fixen Flügeln Fig. 36 und einem oben geschlossenen Glascylinder, welcher auf der Spitze beweglich war. Der Glascylinder drehte sich bei jedem Drucke nur in der voraus bestimmten Richtung, nämlich in der Richtung der emittirten Elektrodentheilchen.

Fig. 37.



Herr Crookes beschreibt in seiner Arbeit auch ein Radiometer, welches Prof. Zöllner schon vor Jahren construirt und in der erwähnten Abhandlung: „Untersuchungen über die Bewegungen strahlender und bestrahlter Körper“ zu erklären versucht hat.[1] Der Apparat besteht aus einem beweglichen Kreuze mit ungeschwärzten Glimmerblättchen, welche, wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, gegen den Horizont geneigt sind. Unter dem Kreuze ist ein horizontal liegender Ring von Platindraht angebracht und seine Enden in die Glaswand eingeschmolzen, um einen galvanischen Strom hindurchleiten zu können.

Während ich mir die nähere Besprechung aller Versuche, welche Herr Zöllner mit diesem Radiometer ausgeführt hat, für die nächste Abhandlung vorbehalte, will ich an dieser Stelle

[1] Pogg. Ann., Bd. 160, p. 460.

nur jenen Versuch erwähnen, welchen Herr Crookes, dem die Zöllner'schen Arbeiten über die Radiometrie unbekannt geblieben sind, mit gleichem Erfolge wiederholte und unrichtig erklärte.

Wird bei einem hohen Grade der Verdünnung durch den Platinring ein galvanischer Strom geleitet, so tritt eine „normale" Rotation des Rädchens ein, d. h. eine solche, welche man nach der Ansicht des Herrn Zöllner durch aufsteigende Luftströme oder durch Emissionsprocesse von der Oberfläche des Drahtes hätte erklären können.[1]

Die Rotation des Rädchens in normaler Richtung ist von der Richtung des Stromes unabhängig.

Diesen Versuch beschreibt auch Herr Crookes, und bemerkt über denselben Folgendes: „Hier haben wir eine andere wichtige Thatsache: Strahlende Materie wird in einem hohen Vacuum nicht nur vom negativen Pole einer Inductionsrolle erregt, sondern ein heisser Draht setzt sie in Bewegung mit hinlänglicher Kraft, um die schräg stehenden Flügel herum zu treiben."[2]

Die Stütze für diese Ansicht scheint Herr Crookes in folgender Modification des Zöllner'schen Versuches suchen zu wollen. Sein Radiometer war mit einer Elektrode oberhalb des Kreuzes versehen (Fig. 37). Wurde der Platinring als negative Elektrode eines Inductionsstromes verwendet, so rotirte das Rädchen entsprechend der Emission der Elektrodentheilchen in normaler, somit in derselben Richtung, in welcher es beim Durchgange des galvanischen Stromes rotirt.

Wir sind jedoch keineswegs berechtigt, aus der Gleichheit der Wirkungen auf die Gleichheit der Ursachen zu schliessen, um so weniger, als der Inductionsstrom bei seinem Durchgange durch den Platinring allein die strahlende Materie nicht in Bewegung setzen kann, und erst eine Erwärmung des Drahtes durch den galvanischen Strom stattfinden muss, wenn die Theilchen angeblich emittirt werden sollen.

Meine Untersuchungen, die ich mit dem Zöllner'schen Radiometer angestellt, haben mich in Gemeinschaft mit den von Herrn Zöllner beobachteten Thatsachen zur folgenden einfachen Erklärung dieses Versuches geführt:

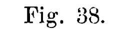
---

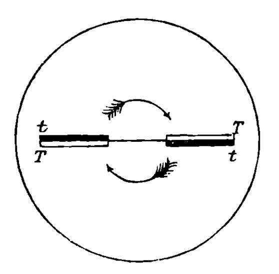
[1] Pogg. Ann., Bd. 160, p. 300.
[2] Strahlende Materie, p. 26.

Beim hohen Grade der Verdünnung in diesem Radiometer (0·02 Mm. Quecksilberdruck) ist, in Folge geringerer Wärmeleitung des noch zurückgebliebenen Gases, die Erwärmung des Drahtes grösser und folglich auch die Wärmestrahlung, welche nach Stefan der vierten Potenz der absolutem Temperatur proportional ist,[1] stärker. Es werden daher die Glimmerblättchen an der dem Platinring zugewendeten Seite wegen ihrer geringen Wärmeleitung stärker erwärmt, als an der entgegengesetzten Seite und aus dem An- und Zurückprallen der Gasmoleküle an der stärker erwärmten Seite der Blättchen resultirt ein gegen ihre Oberfläche senkrecht gerichteter Druck, welcher das Rädchen im beobachteten Sinne drehen muss.

Ausser durch die Wirkung strahlender Wärme wird diese Bewegung noch durch die Wärmeleitung des Gases erzeugt. Die Gasmoleküle erlangen durch das Anprallen an den heissen Draht eine grössere Moleculargeschwindigkeit und übertragen einen Theil ihrer lebendigen Kraft an die Flügel. Im ersten Falle entsteht die Bewegung durch eine blosse Reaction der anprallenden Gasmoleküle im zweiten durch eine Übertragung von lebendiger Kraft mittelst der Stösse der Gasmoleküle. Beide Wirkungen summiren sich, da sie im gleichen Sinne erfolgen und daher die lebhafte Rotation, die man gewöhnlich hier beobachtet.

Schliesslich möge hier die Erklärung des p. 905 erwähnten radiometrischen Versuches Platz finden. Die Zeichnung stellt uns den Querschnitt eines Radiometers mit cylindrischem Glasgefässe und einem Flügelpaar aus Aluminiumblättchen (schwarz) dar, welche einerseits mit Glimmer bedeckt sind. Wird das Glasgefäss mit der Hand oder mittelst strahlender Wärme einer heissen Metallplatte erwärmt, so werden dunkle Wärmestrahlen in der Glaswand absorbirt und gelangen nur indirect zu den Flügeln. Die Wärmebewegung der Glaswände wird mittelst Strahlung und Molecularbewegung des Gases auf die Flügel über-


Fig. 38.



[1] Sitzb. d. Wiener Ak., Bd. 79, p. 391.

tragen, während aber an der Glimmerseite nur die oberste Schichte des Blättchens wegen der schlechten Leitungsfähigkeit desselben erwärmt wird, wird im Aluminiumblättchen die Wärmebewegung der obersten Schichte an die darunter liegenden abgegeben und da andererseits auch das Emissionsvermögen für die Wärme bei Aluminium grösser ist, als bei Glimmer, so wird die Oberfläche des letzteren eine höhere Temperatur besitzen und daher das Rädchen mit dem Aluminium sich vorwärts bewegen.

Folgerungen aus den Versuchen.

> Causas rerum naturalium non plures admitti debere, quam quae et verae sint et earum phaenomenis explicandis sufficiant (Princ. lib. III). Newton.

Ein anfänglich in Ruhe sich befindliches Massensystem bewegt sich, wenn in demselben innere Kräfte, d. h. solche, dass einer Action eine Reaction entspricht, zur Wirkung gelangen, in solcher Weise, dass die Lage des Schwerpunktes des ganzen Systems ungeändert bleibt.

Das überraschende Resultat, dass die strahlende Elektrodenmaterie und Flügel nicht nach entgegengesetzter Richtung, wie Herr Crookes nach dem Principe der Erhaltung des Schwerpunktes folgerichtig angenommen hat, sondern in gleicher Richtung sich bewegen, wäre somit eine Ausnahme von dem erwähnten Principe. Da aber die Natur keine Grammatik ist, so ist dieser scheinbare Widerspruch nur durch die Annahme zu lösen, dass die Kräfte, welche die Elektrodentheilchen losreissen und dieselben fortschleudern, äussere Kräfte sind. Nur diese Annahme erklärt jene scheinbare Ausnahme vom Princip der Erhaltung des Schwerpunktes.

Wenn wir nach dem Wesen dieser äusseren Kräfte forschen, so drängt sich von selbst die Idee auf, dass der elektrische Strom ein wirkliches Fliessen einer sehr feinen, alle Körper durchdringenden Materie, des Äthers, sein dürfte, woraus sich die erwähnte, ganz unerwartete Thatsache mit Leichtigkeit erklären würde. Analog wie ein Luftstrom, der durch eine mit staubiger Baumwolle gefüllte Röhre streicht, nicht blos einzelne Staubtheilchen mitreissen, sondern auch die Baumwolle fortschieben

wird, müsste auch der Ätherstrom nicht bloss einzelne Elektrodentheilchen losreissen, sondern auch die bewegliche Elektrode in gleicher Richtung bewegen.

Ich wüsste nicht, wie diese Thatsache nach der jetzt herrschenden dualistischen Ansicht zu erklären wäre, nach welcher in einem vom elektrischen Strom durchflossenen Leiter zwei gleiche und entgegengesetzte Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung fliessen.

Ebenso wenig lässt sich nach dieser Hypothese eine zweite, schon längst bekannte Thatsache erklären, dass der elektrische Strom nur von einem Pol die Theilchen mechanisch losreisst.

Wollte man etwa annehmen, dass nur jene Bewegung, welche als negative Elektricität sich manifestirt, die Theilchen trennen kann, so finden wir noch eine Thatsache, dass der Strom vom positiven Pol die Theilchen loszureissen vermag, wie es bei der elektrischen Lampe der Fall ist, bei welcher die Theilchen von der positiven zur negativen Kohlenspitze übergeführt werden.

Unter Annahme, dass der elektrische Strom ein wirkliches Fliessen des Äthers ist, können die erwähnten Thatsachen mit Leichtigkeit erklärt werden.

Ich will schon hier einem Einwand begegnen, der möglicherweise gegen die Äthertheorie des elektrischen Stromes erhoben werden könnte, nämlich dass die mechanische Wirkung des letzteren sehr bedeutend sein kann, während doch die Masse des Äthers verschwindend klein ist. Nach der Berechnung des Herrn P. Glan hätte der Äther in einem bestimmten Raume (z. B. 1 CC.) jedenfalls mehr Masse als der hundertbillionte Theil desselben Raumes, wenn er mit Wasserstoff von normaler Dichte gefüllt wäre. Der von H. Thomson angegebene obere Grenzwerth für die Dichte des Äthers ist 7400mal grösser.[1]

Die mechanische Wirkung bewegter Massen hängt von der lebendigen Kraft mv^2 ab, sie ist somit desto grösser, je grösser die Masse oder das Quadrat der Geschwindigkeit der Bewegung ist. Man könnte somit die grossen mechanischen Wirkungen des elektrischen Stromes entweder durch grosse Geschwindigkeit

[1] Wied. Ann., Bd. VII, p. 658.

bewegter Elektricitätsmengen bei geringen elektrischen Massen oder umgekehrt durch grosse Elektricitätsmengen bei geringer Stromgeschwindigkeit erklären. Das Letztere scheint indessen der Fall zu sein und das mechanische Losreissen eines Elektrodentheilchens durch den elektrischen Strom würde somit durch Übertragung einer sehr grossen Elektricitätsmenge, welche durch den Leiter mit geringer Geschwindigkeit fliesst, vor sich gehen.

Hier sei noch bemerkt, dass die Wheatstone'schen Versuche über die Ungleichzeitigkeit der Funken an verschiedenen Unterbrechungsstellen des Leitungsdrahtes über die Stromgeschwindigkeit keinen Aufschluss geben. Im Sinne der Äthertheorie des elektrischen Stromes würden diese Versuche nur beweisen, dass ein Überschuss oder Mangel an Äther, eine Verdichtung oder Verdünnung desselben, welche an einer Stelle der Leitung erzeugt wird, mit einer sehr grossen Geschwindigkeit sich fortpflanzt. Dass diese Geschwindigkeit „der Stromverbreitung", wie sie M. Weber nennt,[1] von derselben Ordnung sein wird, wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, war nach der Wellentheorie a priori zu erwarten, und wird durch die Wheatstone'schen Versuche bestätigt.

Während die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Bewegung von Theilchen zu Theilchen sehr gross ist, ist die diesen Theilchen eigenthümliche Bewegung, die Stromgeschwindigkeit, sehr gering und ergibt sich nach Weber für feuchte Leiter (Wasser) zu $^1/_2$ Mm. in der Secunde.

Weber findet, dass bei einem Strome, dessen Intensität nach elektrolytischem Maasse $= 1$ ist, eine positive Elektricitätsmenge mit $^1/_9$ Mgrm. Wasserstoff in der einen Richtung und eine gleich grosse negative Elektricitätsmenge von $106^2/_3 \times 155370 \times 10^6$ Einheiten zusammen mit $^8/_9$ Mgrm. Sauerstoff verbunden in entgegengesetzter Richtung durch den Querschnitt des Leiters in 1 Secunde geht, woraus folgt, dass in 1 Mgrm. Wasser $106^2/_3 \times 155370 \times 10^6$ Einheiten positiver und gleich viel negativer Elektricität enthalten sein müsse, die sich aber

[1] Abhandlungen über elektrodynamische Maasbestimmungen, Abhandlung 2, p. 299. Abhandlung 4, p. 281.

P. S. A. von Ettingshausen bestimmte die Stromgeschwindigkeit in einem Goldplättchen zu 1·2 Mm. Wien. Ber. Bd. 81.

zusammen mit ihren ponderablen Trägern nur mit der erwähnten Geschwindigkeit von $^1/_2$ Mm. in der Secunde fortbewegen, wenn der Querschnitt des feuchten Leiters nur ein Quadratmillimeter gross ist.

Unter dieser Voraussetzung kann es nunmehr nicht befremdend sein, dass eine äusserst feine Materie wie der Äther, dennoch eine auffallend heftige Wirkung erzeugen, die unvergleichlich grösseren Körpermoleküle in Wärmebewegung versetzen und unter Umständen dieselben vom Körper lostrennen und mit einer bedeutenden Geschwindigkeit fortschleudern kann. Aus der Natur der Sache ergibt sich, dass dieses Losreissen der Theilchen nur an der Austrittstelle des Stromes stattfinden wird, womit jedoch nicht gesagt werden soll, dass am entgegengesetzten Pol in Folge einer anderen Ursache, etwa einer starken Erhitzung, eine Fortführung der wägbaren Materie nicht geschehen könnte.

Ausserdem werden die Äthertheilchen in den Räumen zwischen den Molekülen wägbarer Materie sich reiben und einen Theil der Energie ihrer Bewegung an die Körpermoleküle übertragen, wodurch in den letzteren schwingende Bewegungen ähnlich angeregt werden, wie die Schwingungen der Saiten einer Äolsharfe durch die progressive Bewegung der Luftströme.

Wollte man aus der Bewegungsrichtung der losgerissenen Elektrodentheilchen auf die Richtung des hypothetischen Ätherstromes schliessen, so müsste angenommen werden, dass derselbe bei Inductionsströmen in luftverdünnten Räumen vom negativen zum positiven Pol, dagegen bei galvanischen Strömen in umgekehrter Richtung geht, weil bei den letzteren die Überführung der losgerissenen Theilchen vom positiven zum negativen Pol stattfindet, wenn die Elektroden vom gleichen Metall und annähernd gleicher Form sind.

Halten wir diese zwei Thatsachen zusammen, so haben wir beim galvanischen Strom an seiner Austrittstelle freie positive und beim Inductionsstrome freie negative Spannung.

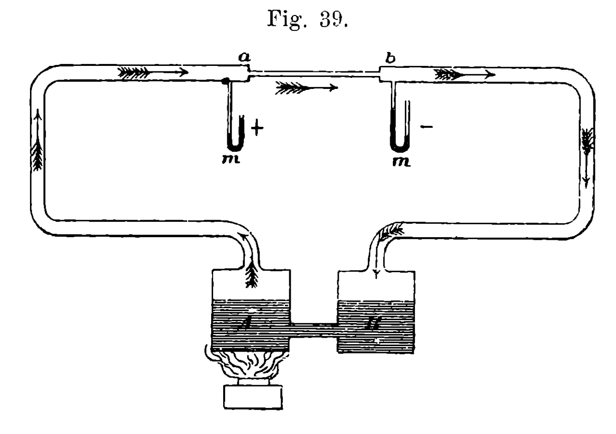
Wir können daher folgende Frage stellen: Kann an der Austrittstelle des Ätherstromes eine Umkehrung der Spannungen stattfinden und worin besteht die Ursache davon?

Die Erklärung ergibt sich ohne Zuhilfenahme irgend einer Hypothese bloss aus den bisher erkannten, experimentell nach-

gewiesenen Gesetzen der Strömung, welche alle Flüssigkeiten, also auch der Äther, befolgen müssen.

Es sollen diese Gesetze zuerst an einer wägbaren Flüssigkeit, etwa überhitzten Dampf, erläutert werden. Die untenstehende Zeichnung stellt uns eine Röhrenleitung dar, welche mit zwei mit Wasser gefüllten communicirenden Gefässen in Verbindung steht. In *A* wird der Dampf erzeugt und überhitzt; derselbe fliesst durch das Röhrensystem, in welches eine Capillare *ab* ein-

Fig. 39.



geschaltet und mit zwei offenen Manometern *m* versehen ist und condensirt sich in ***B***.

Es ist leicht einzusehen, dass das Manometer in *a* ein Stauen und in *b* eine Verdünnung des Dampfes anzeigen wird. Der Überschuss an Dampf soll mit + und der Mangel mit — bezeichnet werden.

Wird statt der Capillare ein Gefäss von grösserem Querschnitte als jener der Röhrenleitung eingeschaltet, so entsteht an der Austrittstelle eine Verdünnung (—) und an der Eintrittstelle in die Röhrenleitung eine Verdichtung (+).

Ganz analog wird der durch chemische Kräfte in der Batterie continuirlich erzeugte Ätherstrom bei seinem Eintritte in den Leiter vom grösseren Widerstande sich stauen und beim Austritte aus demselben sich verdünnen. An der ersten Stelle wird Überschuss, an der letzteren ein Mangel an Äther oder positive und negative freie Spannung entstehen. Dieser Fall findet bei der elektrischen Lampe statt, in welcher die Luftstrecke zwischen

den Kohlenspitzen für den galvanischen Strom einen bedeutenden Widerstand bietet.

Die Luftstrecke in den evacuirten Röhren ist im Vergleiche zu der Luftstrecke zwischen den Kohlenspitzen viel grösser, es ist aber auch die Spannung der Inductionsströme unvergleichlich grösser als die der galvanischen Ströme. Für den Inductionsstrom bietet die Luftstrecke in der evacuirten Röhre einen geringen Widerstand und daher der negative Pol an der Eintrittstelle in die Luftstrecke.

Die Erklärung der Umkehrung der Elektricitätsspannungen an den Polen lässt gewiss an Einfachheit kaum etwas zu wünschen übrig und die Analogie zwischen den Erscheinungen der Flüssigkeitsströmungen und denen der elektrischen Ströme ist so gross, dass es nicht leicht möglich wäre, sie nicht anzuerkennen. Auch wüsste ich nicht, wie man die Thatsache der Umkehrung der Pole nach der jetzt herrschenden elektrischen Theorie besser und einfacher erklären könnte.

Aus der aufgestellten Hypothese über das Wesen des elektrischen Stromes lässt sich noch eine Folgerung ziehen, welche mit der Beobachtung in bester Übereinstimmung ist. Wird eine Batterie durch einen Draht geschlossen, so leistet er dem nach Ausgleich strebenden Äther einen Widerstand, und es wird daher im Drahte ein theilweises Stauen des Äthers stattfinden, welches, am positiven Pol beginnend, gegen die Mitte des Drahtes bis zu einer Stelle, an der die freie Spannung null ist, abnehmen wird. Jenseits dieser Grenze wird sich ein Mangel an Äther, also negative freie Spannung in stets zunehmender Weise manifestiren, ganz analog dem Druckgefälle bei strömenden Flüssigkeiten. Während diese Vertheilung freier Spannungen im Leitungsdrahte nach der Äthertheorie sich als selbstverständlich ergibt, bleibt uns die herrschende dualistische Theorie die Antwort schuldig auf die Frage, warum die freien Elektricitäten durch den Leitungsdraht sich nicht mit einander vereinigen, da sie es sonst doch in ausserordentlich kurzer Zeit thun.

Andererseits ist es klar, dass sich die Sache ähnlicherweise auch in evacuirten Röhren verhalten wird. An der Eintrittstelle des Ätherstromes in die Gassäule entsteht ein Mangel an Äther, das heisst eine negative freie Spannung, während am positiven

Pol ein Stauen des Äthers, positive freie Spannung stattfindet. Es muss daher zwischen beiden Polen eine Stelle geben, die sich gegen andere Körper weder positiv noch negativ elektrisch verhalten wird, und diese indifferente Stelle würde sehr gut auf den dunklen Raum zwischen dem positiven Lichtbüschel und Glimmlichte passen. [1]

Für diese Annahme spricht die von de la Rive durch directe Versuche erwiesene Thatsache, dass der dunkle Raum kälter ist, als die übrige Entladungsstrecke, und dass in demselben eine deutliche Elektricitätsströmung nicht nachzuweisen ist. [2]

Die obige Annahme ist auch in bester Übereinstimmung mit den Resultaten der elektroskopischen Untersuchungen von evacuirten Röhren, welche von einem Inductionsstrome durchflossen werden.

Wird eine vom Inductionsstrome durchflossene und an beiden Elektroden isolirte Röhre mittelst eines Staniolstreifens mit einem Elektroskop verbunden und an verschiedenen Stellen untersucht, so zeigt sich, wie Herr G. Wiedemann nachgewiesen hat, dass die Röhre in der Nähe des negativen Poles negativ elektrisch ist und positiv elektrisch in der Nähe des positiven Poles. Beide elektrische freie Spannungen nehmen gegen den dunklen Raum ab und sind hier fast null. Die geringe Spannung der Glasröhre um den dunklen Raum erklärt sich zur Genüge dadurch, dass die Fortpflanzung der Elektricität auch durch das Glas geschieht und dass in diesem Leiter die indifferente Schichte an eine andere Stelle, als in der inneren Gassäule fallen kann. Davon überzeugt man sich, wenn nur eine Elektrode des Rohres geladen, die andere abgeleitet wird. Die Röhre erscheint an der abgeleiteten Elektrode indifferent und ist der ganzen Länge nach gleichnamig elektrisch mit der geladenen Elektrode. [3]

Ist die gegebene Erklärung des dunklen Raumes richtig, so liesse sich die Schichtenbildung des positiven Lichtbüschels auf

---

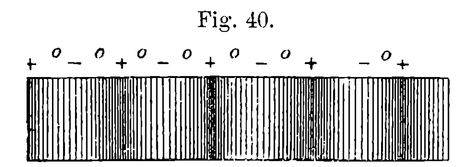
[1] Zu unterscheiden vom dunklen Raume unmittelbar an der negativen Elektrode.

Pogg. Ann., Bd. 158, p. 271.

[3] Pogg. Ann., Bd. 158, p. 69.

folgende Weise erklären. Es liegt der Gedanke nahe, dass der dunkle Raum nur die erste dunkle Schicht ist, und dass alle dunklen Stellen im positiven Lichtbüschel eben soviel indifferente Stellen oder Schichten von Spannung null sind, deren Ursprung auf mechanische Weise sich erklären liesse. Die intermittirenden Entladungen der von der Elektrode losgerissenen Theilchen werden in der eingeschlossenen Luftsäule Verdichtungen und Verdünnungen erzeugen, welche um so regelmässiger verlaufen werden, je regelmässiger der Unterbrecher schwingt. Die Zahl dieser Wellen wird von der Natur des Gases, der Form des Gefässes und der Elektroden abhängen.

Fig. 40.



Da ferner das verdünnte Gas den Entladungen einen geringeren Widerstand leistet, als das verdichtete, so werden an den Ein- und Austrittstellen in die Verdichtungen abwechselnd positive und negative Spannungen entstehen.

An der Stelle der grössten Verdichtung wird, wie in der Zeichnung angegeben, positive, und an der Stelle der grössten Verdünnung negative freie Spannung entstehen. Dazwischen werden die indifferenten (0) Stellen liegen.

Dass in den Schichten nicht abwechselnd auch die blaue Färbung des Glimmlichtes erscheint, ist damit zu erklären, dass hier Elektrodentheilchen fehlen. Nur einmal beobachtete ich an der der negativen Elektrode zugewendeten Seite der ersten hellen, weisslichen Schichte eine ungefähr 1 Mm. dicke, sehr deutliche, blaue Oberfläche. Solche oberflächlich blau gefärbte Schichten soll auch Herr Ciamician, der sich in letzter Zeit mit Spectralröhren viel beschäftigte, gesehen haben.

Die Verdichtungen und Verdünnungen der Luftsäule werden gewiss in der ganzen Röhre entstehen, wenn überall das Gas im gleichen Bewegungszustande begriffen wäre. Dass diese Schichtenbildung im Glimmlichte durch die heftig fortgeschleuderten Elektrodentheilchen modificirt werden muss, ist zu erwarten.

Ebenso wird bei einer stetigen Entladung des elektrischen Stromes keine Schichtenbildung zu gewärtigen sein.

Wird die Röhre stärker evacuirt, so müssen die Wellenlängen zunehmen, zugleich aber die Anzahl der Wellen geringer werden, weil das Glimmlicht desto weiter hinausfluthet, je geringer der Bewegungswiderstand des zurückgebliebenen Gases ist. Wird das Glimmlicht mit Hilfe eines Magneten in der Nähe der negativen Elektrode zurückgedrängt, so können die Schichten in dem vom Glimmlichte freien Raume entstehen. Die Schichten verschwinden ganz, wenn das Glimmlicht bis zur positiven Elektrode hinausfluthet.

Mit der Erklärung der Schichtenbildung haben sich sehr viele Forscher beschäftigt: es würde jedoch die Grenzen dieser Abhandlung überschreiten, wollte ich auf diesen Gegenstand näher eingehen, daher verweise ich auf eine sorgfältige Zusammenstellung der diesbezüglichen Literatur, welche Herr A. v. Urbanitzky in seiner Inaugural-Dissertation „Über die Schichtung des elektrischen Lichtes“ veröffentlichte.

Soviel ich das weite Gebiet der Elektricitätsleitung in verdünnten Gasen übersehe, kann ich mich der Überzeugung nicht verschliessen, dass nur die Annahme einer einzigen bewegten Flüssigkeit jene elektrischen Erscheinungen, welche für die dualistische Theorie bisher ein unlösbares Räthsel geblieben sind, in ungezwungener Weise erklären kann. Und wenn die gegebene Erklärungsweise vielleicht sehr einfach erscheinen mag, so ist sie andererseits deutlich und frei von neuen Hypothesen und Mysticismus. Daher kann auch dieser Umstand nach meiner Überzeugung den Grad ihrer Wahrscheinlichkeit nur erhöhen, da sich ja noch immer gezeigt hat, dass die einfachere Erklärung auch immer die natürlichere war.

Die Äthertheorie der Elektricität ist besonders im letzten Decennium Gegenstand eines tieferen Studiums geworden. Bekanntlich versuchte schon Franklin die zu seiner Zeit bekannten elektrischen Erscheinungen durch Annahme einer einzigen elektrischen Flüssigkeit zu erklären. Es gelang ihm jedoch nicht, die Abstossung zweier elektrischer negativer Körper zu begründen, und so musste die Ansicht von Franklin und der „Unitarier“ jener der „Dualisten“, welche die elektrischen Er-

scheinungen mit zwei Flüssigkeiten erklären wollen, das Feld räumen. Erst in der letzten Zeit ist von gewiegten wissenschaftlichen Männern die unitarische Idee wieder aufgenommen und mit Erfolg weiter ausgebildet worden.

Hier muss ich vor Allem eines verdienstvollen Mannes, des Astronomen Angelo Secchi, gedenken, welcher die Idee, dass der elektrische Strom ein wirkliches Fliessen des Äthers ist, bereits im Jahre 1863 in seinem Buche „Die Einheit der Naturkräfte“ klar ausgesprochen, und, mit Zuhilfenahme der bisher bekannten experimentell geprüften Gesetze der Hydrodynamik, die meisten elektrostatischen und elektrodynamischen Erscheinungen in einfacher und klarer Weise erklärt hat.

Nachher hat auch Herr E. Edlund (1871)[1], ausgehend von der Annahme eines einzigen Fluidums für die gegenseitige Einwirkung zweier Stromelemente die von Ampère gegebene empirische Formel abgeleitet, welche die Gesetze aller elektrodynamischen Erscheinungen beherrscht. Dabei stützt er sich auf zwei fundamentale Principien, nämlich: 1. auf das Archimedische Princip, dessen Anwendbarkeit auf Phänomene dieser Art unbestreitbar erscheint und durch diamagnetische Versuche Plücker's experimentell bestätigt worden ist; 2. auf das Princip, dass Alles, was in der äusseren Natur vorgeht oder geschieht, eine gewisse Zeit erfordert. Ausserdem gelang es Herrn Edlund die meisten Erscheinungen des galvanischen Stromes auf die Äthertheorie zurückzuführen.

Wenn ich mich auch der Überzeugung nicht verschliessen kann, dass die Äthertheorie nur wenige und zaghafte Anhänger hat, so glaubte ich dennoch nicht bloss die experimentellen Resultate meiner Untersuchungen über strahlende Elektrodenmaterie, sondern auch die Schlussfolgerungen, die ich daraus ziehe, der Öffentlichkeit mittheilen zu sollen. Audiatur et altera pars!

Schliesslich sei es mir noch gestattet, an dieser Stelle Herrn Hofrath Stefan für die Bereitwilligkeit, mit der er seinen grossen Ruhmkorff'schen Apparat zu meiner Verfügung stellte, meinen verbindlichsten Dank auszudrücken.

---

[1] Pogg. Ann., Ergb. VI, p. 95 und 241.

NACHSCHRIFT.

Während der Drucklegung dieser Abhandlung erschien eine umfangreiche Schrift, „Eine neue Form elektrischer Abstossung von Dr. Eugen Goldstein“, welche die Vergrösserung des Schattens behandelt, den ein von Elektrodenmaterie bestrahlter Körper, der zugleich negative Elektrode ist, auf der gegenüberliegenden Wand entwirft, indem er die vorbeigehenden Strahlen der Elektrodenmaterie ablenkt.

Die Erklärung dieser Erscheinung ergibt sich von selbst aus der p. 893 von mir gegebenen Theorie der molecularen elektrischen Convection unter Berücksichtigung des Umstandes, dass sowohl Körper als Elektrode negativ elektrisch sind. Aus dieser Schrift soll nachträglich nur die Ansicht des Herrn Verfassers über die Ursache der Phosphorescenzerregung angeführt werden. Darüber findet sich §. 6 folgende Bemerkung: „Das Phosphorescenzlicht der Wandung wird nach weiteren Versuchen nicht veranlasst von ultraviolettem Lichte der ganzen zwischen Kathode und Wand gelegenen Gasmasse, sondern nur die äusserste, unmittelbar sich anschmiegende Oberfläche der glühenden (vergl. S. 884) Gasmasse erregt jenes Leuchten der Gefässwand. Das durch freie Theile des Raumes sich ausbreitende Kathodenlicht besitzt den für die Phosphorescenzerregung erforderlichen Reichthum an ultravioletten Strahlen überhaupt nicht, auch nicht an seiner äusseren Oberfläche, falls diese noch innerhalb eines freien, von einer festen Wand durchschnittenen Raumes liegt, sondern nur, wenn das Kathodenlicht an eine feste Wand stösst, gleichviel in welchem Abstande von der strahlenden Elektrode, überzieht es sich mit einer vorläufig unmessbar dünnen Schichte von kräftig ultraviolett (?) leuchtenden Molekülen, soweit der Durchschnitt des Kathodenlichtes mit der festen Wandung sich erstreckt.“

Wie aber das Leuchten der Moleküle veranlasst wird, dafür gibt der Herr Verfasser keine Erklärung. (S. 883.)
